

Buonamici

Meccanica. Statica - Dinamica - Energia e lavoro.

Statica.

Inerzia - forze - confronto delle forze coi pesi. Rappresentazione grafica delle forze - Dove agiscono le forze nei corpi - Equilibrio - Composizione di forze - Principio del [ ] delle f. f. - Risoluzione d'una forza in due. Composizione di più forze applicate ad un punto, e condizione affinchè esse si facciano equilibrio. Composizione di due forze nel piano, applicate a punti rigidamente uniti. Caso di due forze parallele - Caso della coppia. Composizione ed equilibrio di più forze parallele - Centro di forze parallele - Centro di gravità - [illegible] generale di un sistema di forze applicate in vari punti d'un corpo rigido. Momento di una forza rispetto ad un asse - Equilibrio di un corpo girevole attorno ad un asse sotto l'azione della sola gravità - Bilancia e stadera.

Dinamica

Legge d'inerzia. Forze costanti e forze variabili - Indipendenza dell'effetto di una forza dal moto preesistente - Moto prodotto da una forza costante - Leggi del moto uniformemente vario - Accelerazione - Massa - Densità - [illegible] moto - Caso particolare della libera caduta dei gravi - Piccole altezze - Perturbazioni causate dalla resistenza dell'aria - Costruzioni per punti della traiettoria d'un proietto - Indipendenza degli effetti di [illegible] - Definizione del pendolo semplice - Applicazioni del pendolo agli orologi - Determinazione dell'accelerazione dovuta alla gravità - Azione e reazione - Moto circolare uniforme - Forza centripeta e [illegible] - [illegible] Meccanico - [illegible]metro - Lavoro eseguito nell'unità di tempo. Cavallo [illegible] vapore - Forza viva - Lavoro motore [illegible] - resistente - Piano inclinato - Puleggia - [illegible]
[illegible] - Attrito - Resistenza del mezzo - [illegible]
[illegible] - Principio della conservazione dell'energia - Equilibrio

B



TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA SPERIMENTALE

E DI FISICA TERRESTRE

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA SPERIMENTALE

E

DI FISICA TERRESTRE

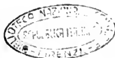
DI

G. GIORDANO

Professore e Direttore del Gabinetto di Fisica
Della R. Università, professore nella R. Scuola di Applicazione del Genio Civile,
Socio ordinario del R. Istituto d'Incoraggiamento

Seconda edizione

VOLUME PRIMO



NAPOLI
STABILIMENTO TIPOGRAFICO DI FEDERICO VITALE
2 e 4 - Largo Regina Coeli.
1862

INTRODUZIONE

Fisica degli antichi. La fisica un tempo era quello che indica il significato stesso del suo nome, la *scienza della natura*, ossia aveva per oggetto ogni maniera di sostanze materiali. Laonde tutta quella innumerevole varietà di esseri che compongono l'universo sensibile, i quali agiscono su i nostri sensi, o agirebbero se fossero circondati dalle condizioni necessarie, formavano l'oggetto vastissimo della fisica considerata nel suo aspetto più generale. Ma poichè era impossibile che una scienza sola abbracciasse argomento sì vasto quando le conoscenze umane si amplificarono ogni dì più, e sovrattutto per la disparità de'progressi nelle singole parti, fu necessario distribuirla in parecchie altre, e sono le seguenti:

Astronomia. La prima a fare scienza da sè fu l'astronomia, la quale comtempla la natura in tutta la sua grandezza. I progressi ne furono più rapidi tra per la sua indole adatta ad ingenerare nobilmente la curiosità del sapere, e pel giovarsi a preferenza delle matematiche, in cui andarono molto innanzi gli antichi. Essa esamina la struttura de'cieli, e misura la grandezza, la disposizione, le distanze degli innumerevoli corpi che si rivolgono perennemente nell'ampiezza dello spazio. Considera pure la terra, ma non altrimenti che un corpo celeste; e si limita a definirne l'azione attrattiva che la lega a tutti gli altri, le dimensioni, la posizione, i movimenti.

Geografia fisica, geologia, meteorologia. La geografia fisica

Fisica attuale e chimica. Tutte le scienze enumerate sono ben lungi dall'esaurire l'argomento : la piena conoscenza dei corpi richiede qual fondamento due altre scienze sorelle , la *fisica* propriamente detta, e la *chimica* , le quali perchè ànno per oggetto la natura e l'attività della materia sono come l'anima e la forma di tutte le scienze naturali. Considerano entrambe le proprietà generali de'corpi , e le forze da cui sono essi animati. E poichè quelle ci si possono manifestare mediante azioni che producono o un cangiamento costante e come una trasformazione de'corpi stessi ne'quali avvengono, o pure una modificazione passeggiera ; quindi oggetto della chimica sono le prime, la quale perciò si occupa *della natura de'corpi, e della loro composizione e delle sintesi e delle analisi che ne operano la trasformazione*. Le seconde appartengono alla fisica, la quale può definirsi *la scienza delle proprietà generali della materia inorganica e delle forze che la regolano, manifestantisi per mezzo di azioni che non producono alterazione nella sua composizione*.

L'una e l'altra si accompagnano, e scambievolmente si aiutano ; ma non potrà mai affermarsi che si confondono fuor solamente da chi entrambe le ignora.

Dopo la scoverta delle azioni molecolari mal sarebbe definita la fisica, e non bene distinta dalla chimica, ove si dicesse che quella si occupa delle azioni che avvengono all'esterno de'corpi a distanza finita, e questa della scambievole influenza tra le molecole a distanza infinitesima.

Fenomeno. L'azione d' un corpo su i nostri sensi si chiama *fenomeno*. Vorrebbe dire un'apparenza , o altrimenti un fatto, che per noi è tutt'uno , giacchè neppure crediamo degna di esame la quistione del se corrisponda la realtà de'corpi e delle loro modificazioni alle impressioni che ne riceviamo, e la più miserevole aberrazione della mente fu l'averne dubitato. Adunque lo studio della fisica si versa intorno ai fatti o ai fenomeni che voglian dirsi: della cui esistenza primamente fa d'uopo acquistare certezza con ogni diligenza per allontanare qualunque inganno o cagione d'illusione.

Legge fisica. Assicurarsi della verità del fatto non è che il primo passo della scienza. Va oltre il fisico e si studia di sceverare il fenomeno da tutte le circostanze che per avventura lo accompagnano senza influire menomamente alla produzione di quello. Trasceglie le altre da cui à una qualche dipendenza, definisce quale essa sia e la misura. Avrà scoverto così *la legge del fenomeno*, ossia una *relazione tra quelle quantità in funzione di cui il fenomeno si opera*. Togliamo ad esempio il fatto della capillarità. Dopo aver riconosciuto che immergendo in acqua un cannello di vetro di picciol diametro aperto ai due capi il liquido ascende a maggiore altezza dentro che fuori, offrendo così una eccezione alla legge idrostatica della uguaglianza di livello, progrediamo innanzi. E nell'intento di scovrire quali sono le circostanze da cui dipende l'ascendere più o meno, troviamo essere senza influenza l'ampiezza della vasca, la lunghezza e la spessezza del cannello, la pressione dell'aria e simili. Finalmente variando e moltiplicando le ricerche ci verrà fatto osservare che l'acqua sale tanto più quanto è minore la luce del cannello. Ecco una legge della capillarità, ossia una relazione tra l'altezza del liquido e'l diametro del tubo, e può essere enunziata a questo modo : *l'altezza del liquido in un cannello capillare è nella ragione inversa del diametro.*

Teoria. Possono essere molte le leggi che regolano un medesimo fenomeno. Convien tutte raccorle : il loro complesso costituisce una *teoria*.

Cagione. Nè pure dell'aver formata una teoria la mente si chiama paga: essa non si arresta finchè non à scoverto la *cagione* del fenomeno e delle leggi e di tutta la teoria. Cagione fisica è veramente un fatto più generale, al quale un altro va riferito alla maniera di un caso particolare. Così ci sarà nota la cagione della gravità terrestre quando avrem dimostrato che essa è un caso particolare dell'attrazione o vogliam dire della gravità celeste. Adunque nello studio de'fenomeni naturali si ascende da effetto a cagione, ossia da un fatto più particolare ad un altro più generale per gradi ; ma è forza poi arrestarsi ad alcuni fatti primi in cui tutti gli altri si risolvano.

Ipotesi, sistema. Sovente è agevole e piano lo studio dei fenomeni, e si riesce più o men difficilmente a scovrirne la cagione; ma non di rado tornano a niente le lunghe ricerche e le durate fatiche, e conviene adottare in vece una *ipotesi*. La quale non può dubitarsi sia per giovare al progresso della scienza se possiede le doti che le sono indispensabili. Ipotesi non è altro che una *cagione probabile* ; e vale un dire che sarebbe bensì adatta a produrre il fatto, ma non abbiamo modo a dimostrare che veramente lo abbia cagionato, sovrattutto se molte insieme ci si presentano all'istesso fine. Adunque fa d'uopo che 1° manchi una cagione certa, 2° non sia essa opposta a un fatto, o a una legge, o a una cagione di cui non si può dubitare, 3° e dia spiegazione del fenomeno in tutte le sue attinenze senza bisogno di altre ipotesi ausiliari.

Osservazione, esperienza. Poichè i fatti di natura sono fuori di noi e contingenti, non possiamo averne conoscenza fuorchè in uno de'due modi seguenti. O esistono isolati, e basta rivolgere loro la nostra attenzione ; ciò è *osservare* : o sono complessi in tanto che mal si discernono perchè in compagnia di altri, e conviene segregarneli, e isolarli; e questo è *sperimentare*. Guardate attentamente il sole, e fissate una macchia sul suo disco: l'indomani la vedrete spostata, e anche più doman l' altro fino a raggiungere l'orlo e poi sparire : dopo alquanti giorni la vedrete ricomparire al lembo opposto, e poscia avanzarsi sino a occupare di nuovo il sito in cui la vedeste il primo dì. Avrete fatto così una serie di osservazioni ; dalle quali, se ogni macchia avesse forma e posizione costante, come credevasi, sul disco solare, si dedurrebbe che il sole in 25 giorni compie una rotazione intorno all'asse. L'atmosfera circonda la terra e la preme tutt'intorno; ma pure non vediamo i corpi aderire alla superficie di quella con forza maggiore del loro peso. Che se torremo l'aria di sotto a una campana poggiata sul piatto della macchina pneumatica, ed essa vi si attaccherà forte a segno da esserci più agevole ridurla in ischegge che distaccarla. Ecco una *esperienza*, di cui è stato oggetto separare le due pressioni che si equilibravano, e con sottrarre la

interna siam riusciti a far che sola la esterna operando senza contrasto divenisse sensibile. L'*osservatore* dunque non fa che attendere a quel che per se medesima la natura gli manifesta; lo *sperimentatore* invece determina le circostanze e la costringe quasi ad operare; ed è ben detto che *il primo l'ascolta, il secondo la interroga.*

Importanza delle macchine. Dopo ciò è ben chiaro che la fisica è di necessità una scienza di osservazione e di sperimento al pari di tutte le altre scienze naturali ; e furono meschini i progressi che essa fece appo gli antichi appunto perchè questi poco osservarono e presso che nulla sperimentarono. Di quì la necessità delle macchine , che sono i mezzi acconci ad operare quelle analisi e quelle sintesi di che poco fa discorremmo. Molti tra i fenomeni naturali àn troppo del maraviglioso, per che a stento si aggiusta fede a chi li asserisce: parecchi fra essi mal si comprendono se unicamente se ne ascolta o se ne legge la descrizione, per grande che sia lo sforzo e l'abilità di esporli con chiarezza. Per ambe le ragioni convien vederli assolutamente per quanto è possibile, e ne à dritto chi viene ad ammaestrarsi, se pur non facesse bisogno all'uopo di ordigni complicati e soli al mondo che richiedessero una fortuna per averne il duplicato, ad esempio l'apparecchio di Cavendish; o non fosse in nostro potere ripeterli come sarebbe delle aurore polari, dei tremuoti, degli uragani. È questa la condizione delle scienze tutte di fatto. Insegnare mineralogia o botanica senza una collezione di minerali o di piante è un costringere a perder tempo o altrimenti un inganno. E se ciò à luogo per le scienze descrittive, lo è oltre quanto può dirsi più vero relativamente a quelle, che dalla descrizione de'fatti debbono ascendere alle leggi , alle teorie , alle cagioni. Così senza avvedercene ci si è presentata da se la ragione del non poter essere volgare l' insegnamento di tali discipline, nè molti di numero i valenti in esse al pari di quanti in ogni paese si distinguono nelle scienze razionali e nelle scienze esatte.

Quel che abbiamo detto riguarda la necessità delle macchine

per l'insegnamento; ma non sono richieste meno a fare delle scoverte, ossia ad arricchire la scienza di novelli trovati. Il volgo, e sovente anche la gelosia de'dotti, accorda al caso tutto l'onore d'una scoverta scientifica. Il vero è che solamente l'occhio del genio può essere colpito da'raggi d'una luce fortuita, i quali passano inosservati al cospetto della turba ignorante. Ma per l'ordinario i lunghi studi, le ricerche assidue, le prolungate esperienze dirette a svolgere le conseguenze di un primo fatto preveduto dalla intelligenza o presentatosi da se costituiscono il merito, a cui corrisponde il premio delle invenzioni.

Le quali tutte cose se valgono a dimostrare che in fisica fa mestieri indispensabilmente di arnesi, di ordigni, di macchine per ammaestrare altrui e per istituire di nuove ricerche, non danno poi già un dritto di abusarne a segno da ridurre la scienza ad un vano spettacolo di fatti meravigliosi, che riescano di pabolo all'occhio istupidito e non d'istruzione alla mente indagatrice del vero.

Uso delle matematiche. Formolare una legge fisica, dopo la definizione che ne abbiam data, non è altra cosa che stabilire una equazione espressa o con lungo giro di parole nel linguaggio comune, o con simboli nel linguaggio algebrico. La quale ragione sola basta a persuadere essere indispensabili alla fisica le scienze esatte affine di formolare le leggi dimostrate con la esperienza e con la osservazione. Ma v'è dippiù; una equazione esprimente una legge con l'algoritmo algebrico si trasforma in più altre: se ne ricavano così delle conseguenze, e si determinano i valori per le diverse circostanze. Si ricorre poi novellamente alla osservazione e all'esperienza per assicurarsi che quelle illazioni del calcolo àn luogo veramente nei casi particolari. E così non pure rimane confermata la verità della legge, ma ci arricchiamo di nuove scoverte per l'accordo che ci si manifesta tra il risultamento del calcolo ed il fatto. Laonde tra questi limiti l'uso delle matematiche non può per verun conto separarsi dalla fisica, se non vuolsi degradarla e torle ogni pregio di scienza; appunto come di necessità essa è

fondata sulla esperienza e sulla osservazione, per non sostituire i sogni della immaginazione e le fantasie dell'uomo a'fatti naturali. E però sarebbe anche superfluo quanto un mero pleonasmo l'epiteto alla fisica di *matematica* , come lo sono quelli di *osservatrice* e di *sperimentale*. Purtuttavolta si costuma di dare il nome di fisica *matematica* a quelle sole branche di essa o a quei trattati speciali, ne'quali più copiosamente si fa uso del calcolo ; ma è riprovevole il serbarsi ancora questa denominazione alla Meccanica, la quale non à più nulla di comune con la fisica d'oggidì. Similmente si attribuisce alla fisica l'aggiunto di *sperimentale* nell'intento di esprimere che vi si fa delle matematiche un uso assai parco e senza lusso di formole, che renderebbero difficile e malagevole il cammino della scienza, e il restringerebbero a pochi privilegiati.

Perfezione futura della fisica. Nello stato attuale della fisica tutt'i fenomeni del suo dominio si reputano prodotti da quattro cagioni generali o da quattro forze prime che vogliono dirsi ; e sono l'*attrazione* nella materia ponderabile, il *calore*, la *luce*, l' *elettrico*. Ne era dapprima più esteso il numero, che co'progressi della scienza si è andato man mano restringendo. A questo modo il magnetismo, che riputavasi una cagione a se , si è rinvenuto essere una medesima cosa che l'elettrico operante in una determinata maniera. Ugualmente è quasi completa l'analogia, nè manca molto ad essere dimostrata la identità de'due agenti, calore e luce. Vorremmo poter affermare il medesimo delle altre cagioni ; ma ci vediam costretti confessare che siamo ancora lontani da quel sommo grado di perfezione, a cui sarebbe condotta la scienza se tutt'i suoi fenomeni potessero dimostrarsi prodotti da una cagione sola operante con diverse leggi. Questo agente chiamiamo *etere* , che supponiamo sparso per tutto , che riempie gli spazi vuoti di materia pesante, e penetra per entro a tutt'i corpi, e nelle varie condizioni acquista densità ed elasticità differente, ma sempre attivissimo, produrrebbe i fenomeni del calore, della luce, del magnetismo, dell'elettrico.

NOZIONI PRELIMINARI

DEL CORPO E DELLE SUE PROPRIETÀ

1. **Corpo e sue proprietà.** Se consultiamo la sola osservazione lasciando da banda le polemiche e le più speciose maniere di ragionare, troviamo, che per affermare la esistenza di un corpo richiediam naturalmente *una sostanza, che occupi determinata porzione dello spazio, e agisca su i nostri sensi.* La virtù di produrre svariate impressioni su i nostri organi costituisce gli attributi e le diverse proprietà dei corpi. I tre primi attributi ed essenziali sono *quantità*, *estensione*, *impenetrabilità*. Delle altre proprietà de' corpi alcune sono anche *generali*, ossia appartenenti a tutti essi sebbene in grado differente, ma suppongono il corpo già costituito, come la divisibilità e la mobilità; altre sono *particolari*, cioè si ravvisano in alcune classi di corpi, come la durezza e la tenacità. I progressi delle scienze e delle arti ognidì ci rivelano novelle proprietà generali e particolari de' corpi; ma basterà per ora conoscere gli attributi essenziali, ed alcune tra le proprietà generali.

Si noti che usiamo l'una per l'altra le due voci *corpo* e *materia*; ma propriamente materia sarebbe ciò di che un corpo si compone.

2. **Quantità**. La *quantità* è quell' attributo della materia pel quale essa è costituita di più parti, e perciò è capace di aumento e di diminuzione. Queste parti diconsi *integrali*, e la natura di ciascuna di esse è la medesima che quella del tutto: p. e. le due metà d' un pezzo di legno o di marmo sono ugualmente legno o marmo. Non è così di quelle che si chiamano *essenziali*, la cui natura è diversa da quella del composto che formano: ossigeno e idrogeno sono ben differenti dall' acqua che di loro si compone.

3. **Estensione.** Quell'attributo della materia, per cui essa oc-

lo alla estremità del regolo AB, gli si avvicini a contatto il nonio scorrevole *ab*. La lunghezza PQ è uguale a 4 parti del regolo AB più la frazione *mn*, la quale sarà uguale a otto decimi, poichè la ottava divisione del nonio coincide con quella del regolo.

Se invece di dividere nove parti in dieci, se ne assumessero 19, 29, 39 e si dividessero in 20, 30, 40 parti, si avrebbe la misura delle lunghezze sino a'ventesimi, trentesimi, quarantesimi. Lebaillif è giunto a segnare 400 tratti nello spazio di un millimetro.

D'ordinario il nonio è rettilineo, talvolta anche circolare, come nelle bussole, per giungere nella divisione degli angoli e del cerchio non solo ai minuti primi ma anche ai secondi ed ai decimi di questi.

Catetometro. Vuol dire *misuratore delle altezze*, e fa bisogno sovente in osservare da lungi l'altezza per esempio d'un liquido in cannello di picciol diametro per non alterarla appressandosi. Consiste in un'asta prismatica verticale e graduata AB (fig. 2): per essa scorre un cannocchiale D sempre orizzontalmente, munito di nonio, e può fermarsi dove occorre con vite di pressione.

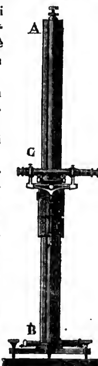


Fig. 2.

Vite micrometrica. Allorchè una vite gira intorno al suo asse in una chiocciola fissa, per una intera rotazione si avanza di una lunghezza eguale al suo passo. Quindi se il passo è di un millimetro, e in testa alla vite è fisso un indice mobile con essa, il quale segni i gradi in una circonferenza divisa in 400 parti, si avranno le misure sino a un quattrocentesimo di millimetro.

Non è malagevole intendere come possa applicarsi la vite micrometrica nel costruire le macchine di divisione aggiungendo in fronte alla vite uno o più stili, che a determinati intervalli segnino una linea sopra una verga sottoposta.

Sferometro. Cauchoix lo à inventato per misurare le minime spessezze de' corpi. Esso consiste in una chiocciola fissa A sostenuta da tre punte B, C, D (fig. 3), le estremità delle quali sono

nel medesimo piano perpendicolare all'asse della vite; questa inferiormente termina pure in punta, e di sopra à un disco E mobile con essa diviso in 400 o 500 parti. Collocato lo strumento sopra un piano orizzontale, allorchè la punta della vite è nello stesso piano che la estremità dei tre piedi, quello è in equilibrio: allora lo zero del disco E corrisponde ad una verga *mn* congiunta alla chiocciola. È chiaro che se sotto la punta della vite si pone l'oggetto, del quale si vuole misurare la spessezza, l'equilibrio sarà turbato e l'istrumento barcollerà. Per ristabilirlo converrà girare la vite e tirare su la punta *p*. Se dunque il passo della vite è un millimetro, la misura voluta sarà data in frazioni di millimetro dalle divisioni del disco E corrispondenti alla verga *mn*.

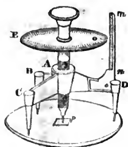


Fig. 3.

5. **Impenetrabilità.** Ogni corpo resiste a qualunque cagione esterna tendente a fare che le varie sue parti o altro corpo occupino il medesimo spazio: questa resistenza è ciò che chiamasi *impenetrabilità*. Infatti non diciamo corpi quei punti splendenti che ad alcuni appariscono svolazzanti nell'aria, non quei cerchi che premendo da un canto il bulbo dell'occhio si presentano dal canto opposto; perchè volendo stringerli nella mano le dita si chiudono a vuoto tra loro stesse. Riduconsi talvolta i corpi ad occupare spazio minore, ma non abbiamo mai in natura esempio di vera compenetrazione. L'aria stessa cede il suo posto ai corpi che si muovono in essa: l'aria impedisce che il fondo d'un bicchiere si bagni allorchè capovolto s'immerge nell'acqua. La quale esperienza, passando dal piccolo al grande, rende ragione della maniera d'agire della *campana de' palombai*.

V'à per altro dei fatti, i quali apparentemente indicherebbero una compenetrazione; ad esempio il diminuire di mole così il miscuglio di alcole ed acqua, come il rame e lo zinco nell'atto di allegarsi insieme per formare l'ottone; così pure i fenomeni di assorbimento, e simili; ma tutti essi rivelano piuttosto un'altra proprietà dei corpi la *porosità*, della quale presto ci occuperemo.

6. **Divisibilità.** Le parti integranti, di che si compongono i corpi, possono di fatto esser separate le une dalle altre; ciascuna

di queste à egualmente le sue parti minori, le quali pure possono essere disgiunte, e così di seguito. Siffatto attributo è chiamato *divisibilità*, ed è tale che supera ogni credenza la piccolezza delle moli in che la materia può esistere. Rechiamone degli esempi tolti dall'arte e dalla natura.

Wollaston ridusse un filo di platino al diametro di 1/1200 di millimetro: 140 di questi fili non giungono alla grossezza di un filo di seta. Il battiloro colla percossa riduce l' oro a lamina così sottile che è portata via dal minimo soffio. Se si copre di argento un cilindro di ramo e si passa per filiera, rimane argentato distendendosi del pari il rame inferiormente e l'argento di sopra; a tal modo con un grammo di argento può aversi argentato un filo lungo oltre 4000 metri. Un centigrammo d' indaco colora di blu intenso 10000 grammi di acqua: ogni grammo di acqua si divide agevolmente in 1000 parti: adunque un centigrammo d'indaco è divisibile in 10 milioni di parti.

L'argomento che si trae dagli odori è maraviglioso. Il muschio per anni rende forte odorosa una stanza, della quale l'aria si rinnovella ogni dì; e ciò non ostante scema appena di peso.

Il sangue, che sembra un liquido continuo, è formato di globetti nuotanti nel siero. Questi nell' uomo sono sferici ed ànno diametro di un cinquantesimo di millimetro; in altri animali sono di forma e dimensione diversa. Ogni globetto à un inviluppo colorato e un nucleo.

Se fate macerare un vegetabile in acqua, specialmente se al sole, dopo breve tempo l'acqua sarà gremita di animaletti piccolissimi detti *infusori*, visibili non altrimenti che al microscopio, e pari di grandezza ai globetti del sangue. E pure questi sono provveduti di organi destinati all'esercizio di determinate funzioni. Ehremberg vi discoprì un canale digerente, e de' vasi circolatorii. Quanto piccola dovrà essere la particella del liquido circolante? Ma è composta anch' essa come tutte le sostanze organiche!

Questi e molti altri somiglianti argomenti somministra il microscopio, il quale anche ci rivela una immensa differenza tra le opere della natura e dell'arte. I più delicati lavori dell'arte appariscono al microscopio informi e sfigurati, p. e. il filo d'un rasoio, la punta aguzza di un ago; e per converso squisitissima è la finezza degli oggetti naturali infinitamente piccoli di mole.

7. È stata vivamente agitata la quistione se la materia fosse di-

visibile all' infinito. Essa dee risolversi diversamente secondo il vario significato, nel quale si prende la parola *divisione*. Ove trattisi di divisione *meccanica*, ossia di fatto, fuori dubbio l'arte si arresta secondo la perfezione dello strumento. Se di divisibilità *matematica* tolta dalla idea del continuo, non si giunge mai ad un limite, ragionando a questo modo: in un piano si può tirare sempre una linea, in una linea si può segnare sempre un punto; per quella linea, per questo punto fate passare un piano, e avrete diviso quel continuo in due della medesima *specie*. Ma trattandosi di *fisica* divisibilità, in relazione cioè delle leggi naturali in vigore sulla materia, la quistione va risoluta con osservazioni ed esperienze: e queste rivelano esservi ne'corpi delle ultime particelle non atte a dividersi fisicamente in altre minori, anzi neppure a minimamente alterarsi; poichè facendo parte di qualunque combinazione chimica, provando qualunque assimilazione ne'corpi organizzati, non àn subito cambiamento di sorta nelle loro proprietà dalla origine delle cose. Queste ultime particelle de'corpi, queste unità di materia fisicamente indivisibili sono dette *atomi*.

8. **Porosità**. La superficie de'corpi non è un continuo geometrico; le loro parti non sono già in contatto, ma v'à tra esse degli interstizii, de'vani, ai quali si è dato il nome di *pori*.

Tutt'i corpi sono porosi. Infatti tutt'i corpi per calore si dilatano, per freddo si restringono; cioè occupano ora maggiore ora minore porzione di spazio. Fra i molti apparecchi, de' quali si fa uso per dimostrare sperimentalmente questa verità, scegliamo il seguente destinato a misurare la dilatabilità de' metalli, e chiamato *pirometro a quadrante*.



Fig. 4.

Esso consiste in una verga metallica AB (fig. 4) fissa per una estremità B con vite di pressione, e con l'altra A, ch'è libera, urta

il braccio dell'indice I. Riscaldata con sottoporle una sorgente di calore, la verga si allunga, e la quantità della dilatazione lineare è segnata dal movimento dell'indice: tolta via la sorgente calorifica, ritorna esattamente alla lunghezza primitiva. In generale il principio della costruzione di tutt'i termometri è la dilatazione o il restringimento operato ne'varii corpi dall'aumento o sottrazione di calore. Or questo effetto costante non può spiegarsi ricorrendo alla compenetrazione delle parti, poichè tutti i fenomeni naturali la escludono; adunque bisogna dire, che le particelle de'corpi sono ora a maggiore ora a minore distanza, o altrimenti che v'à tra quelle de' pori di ampiezza variabile.

Inoltre sono moltissimi i corpi, ne' quali esistono pori di tale natura da permettere che altri corpi vi s'introducano e li traversino. Svariate esperienze, ed anche molte osservazioni naturali dimostrano questa speciale maniera di porosità.

1.° In quanto alle esperienze bastino le seguenti. Gli accademici del Cimento nel 1661 riempita d'acqua una sfera di oro si avvidero che percotendola con martello, ad ogni colpo ne trapelava l'acqua in goccioline minutissime: la medesima esperienza fu dai fisici ripetuta con altri metalli. Il mercurio si spreme attraverso una pelle di camoscio, e con ciò si netta delle impurità che lo imbrattano. Come pure



Fig. 5.

se sul piatto P (fig. 5) della macchina destinata a fare il vuoto, si unisce a vite il tubo A, il quale termina di sopra in una vaschetta m tutta di legno, o anche di ottone con fondo n di cuoio di bufalo, appena si toglie l'aria dal tubo, e il mercurio traversa i pori del legno o del cuoio per la pressione dell'aria esterna, e cade in apparenza di pioggia. Parimenti vuotata d'aria una campana (fig. 6), sotto la quale sieno immerse nell'acqua diverse sostanze, come un uovo, de'pezzetti di legno, di pietra e simili, da'

pori di questo si veggono uscire in copia bollicine d'aria, e traversare l'acqua. *L'idrofana* (*) emette le medesime bollicine appena immersa nell'acqua senza bisogno di rarefare l'aria. *L'acciaio*, ch'è un composto di ferro e carbonio, si ottiene per *cementazione* riscaldando fortemente per 7 o 8 giorni continui le barre di ferro circondate da polvere di carbone o fuliggine: il carbonio penetra pe' pori del ferro, e lo trasforma in acciaio.

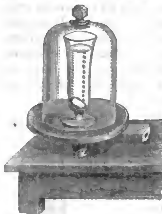


Fig. 6.

2.° Anche molti fenomeni naturali dimostrano la porosità, e si spiegano con essa. L'acqua di pioggia s' infiltra nei differenti terreni, li traversa, e quando ne spiccia fuori a maggiore o minore distanza dà origine alle sorgenti. Le *stalattiti* sono concrezioni per l'ordinario calcaree, talvolta silicee, pendenti dalle volte di cavità sotterranee, e depositate successivamente dall'acqua, che dopo aver traversata la roccia si è svaporata: se le goccioline di acqua cadono sul suolo e poi si svaporano danno origine alle *stalagmiti*. Queste non di rado si sollevano a segno da giungere a contatto delle stalattiti pendenti, e rassomigliano con perfetta illusione a colonne, le quali sostenessero le volte di quelle grotte. Inoltre se sono splendenti o traslucide perchè cristallizzate, ànno bellissima apparenza. La grotta di Antiparos nell' arcipelago greco è la più maravigliosa in questo genere. Il quarzo *enidro* contiene acqua che va via dai pori se è lasciato in luogo secco. Le *geodi* o *etiti* sono massi orbicolari talvolta con nocciuolo mobile, tal'altra tapezzate internamente da cristalli: in ambi i casi à dovuto prima consolidarsi la crosta, e poi a traverso i pori di questa svaporare il liquido interno in cui era sciolta la sostanza, che à formato il nucleo o i cristalli. Il fenomeno delle così dette *pietrificazioni* va spiegato a questo modo: nell'atto di consolidarsi quel limo in cui

(*) È una varietà di silice, un quarzo idrato, così detta perchè diventa diafana assorbendo acqua. In un mio viaggio geologico in Sicilia ne trovai presso Girgenti una varietà singolarissima, la quale emetteva nell' acqua due terzi del suo volume di aria; ne distribuii de' saggi pei principali gabinetti di Europa.

è rimasta la sostanza organizzata, le particelle di questa si sono decomposte le une dopo le altre in principii aeriformi, e il loro posto è stato occupato dal limo stesso o da altra sostanza minerale, prendendone la forma con ogni somiglianza: tale processo non può intendersi senza la porosità.

Qui pure van ricordati i fenomeni di assorbimento e di esalazione negli esseri organizzati: le piante assorbiscono il succo per le radici e lo emettono in vapore per le foglie: i legni e le altre sostanze *igroscopiche* cambiano di mole o di forma per la umidità o pel secco. La pelle degli animali è tutta bucherata di pori che bene si distinguono con lente, e per essi accade la traspirazione cutanea. Il veneziano Santorio e poi i francesi Seguin e Lavoisier dimorando a lungo sopra una bilancia scovrirono, che in 24 ore di 8 parti di nutrimento in un adulto 3 ne van perdute per traspirazione cutanea, 2 per traspirazione polmonare, e 3 in escrementi.

9. Massa, volume reale ed apparente densità. Dalla porosità consegue che lo spazio definito dalla esterna superficie di un corpo non è tutto occupato realmente dalla materia di esso ma in parte anche dai pori. Vedremo in seguito in qual maniera si determini quanto vi à di pieno e di vuoto. Si dice *massa* la quantità di materia esistente in un corpo; le singole particelle diconsi pure *unità di massa*. Lo spazio occupato dalla massa costituisce il *volume reale*, quello occupato dalla massa insieme e dai pori il *volume apparente*. Si chiama *densità* la massa di un corpo sotto un determinato volume preso per unità.

Da queste nozioni s'inferisce, che la densità cresce o decresce come la massa se il volume rimane costante, o altrimenti è in ragione diretta della massa: in vece diminuisce e si accresce secondo l'aumento e la diminuzione del volume quando la massa è la medesima, cioè è in ragione reciproca del volume. Adunque se D, M, V, rappresentano densità, massa, e volume apparente d'un corpo, avremo tra queste tre quantità la equazione

$$D = \frac{M}{V}.$$

Di qui riesce agevole il determinare la relazione tra due di queste quantità in più corpi quando la terza è la medesima. Infatti da quella equazione si ottiene

$$M = DV;$$

E se la massa, la densità, ed il volume di un altro corpo si di-

cano M', D', V', avremo del pari

$$M' = D' V',$$

e perciò dalla prima equazione e dalla seconda ne nascerà

$$M : M' :: D V : D' V'.$$

1.° Sia ora V = V'; la proporzione diventerà

$$M : M :: D : D',$$

cioè « se due corpi ànno il medesimo volume, le loro masse staranno come le densità ».

2.° Sia D = D', avremo ugualmente

$$M : M' :: V : V',$$

ossia « allorchè due corpi ànno la medesima densità, le loro masse sono come i volumi ».

3.° Finalmente se M=M', sarà pure DV=D' V', donde

$$D : D' :: V' : V,$$

cioè « in due corpi che ànno masse uguali le densità sono nella ragione reciproca de'volumi ».

Abbiam sovente bisogno negli usi della vita di determinare la massa dei corpi. Allorchè conservano la medesima densità, se ne deduce la massa dal volume. La unità di misura in questo caso è il *litro*, cioè un decimetro cubico. Se il volume è variabile si ricorre al peso, ch'è sempre proporzionale alla massa, come diremo.

10. Quiete, mobilità, moto. Ogni corpo non è astretto per sua natura ad occupare una costante porzione di spazio, un *luogo* determinato. La permanenza d'un corpo nel medesimo luogo è detta *quiete*. La proprietà di poter passare da un luogo in un altro si chiama *mobilità*. Il passaggio effettivo si dice *moto*.

11. *La quiete e il moto si distinguono in assoluti e relativi.* Quiete *assoluta* sarebbe la totale mancanza di movimento; moto *assoluto* il movimento d'un corpo rispetto ad altri che fossero in quiete assoluta. In natura non v'è esempio nè di quiete nè di moto assoluti. Moto *relativo* e quiete *relativa* sono gli stati di moto e di quiete d'un corpo rispetto ad altri, co'quali à un movimento comune. Mentre una nave solca le onde, il timoniere fermo al timone e il capitano che passeggia sul ponte ci porgono esempio l'uno di quiete l'altro di moto relativo, paragonandoli alle altre parti del battello col quale entrambi ànno comune il movimento.

Il movimento relativo di due corpi non è per nulla turbato dal moto comune. Nelle eruzioni vulcaniche le bombe e saette sono spinte in alto e cadono ne'medesimi punti del cono vulcanico, co-

me avverrebbe se quelle ed il cratere non avessero un moto comune con la terra. La rotazione della luna intorno alla terra non è menomamente alterata dal moto di entrambe intorno al sole.

12. **Inerzia, forza, potenza, resistenza.** I corpi non sono atti per se medesimi a cambiare o modificare lo stato di moto o di quiete che ànno ricevuto. Questa loro inattitudine dicesi *inerzia*, a cui perciò è bene dato il nome di proprietà negativa. Abbiam detto *per se medesimi*, cioè considerata la loro natura, la quale include solamente quantità, estensione, impenetrabilità. A produrre quel cambiamento o quella modificazione v' è bisogno d'una cagione immediata, che dicesi *forza*. Se questa è impiegata a produrre un moto si chiama *potenza* , se a distruggerlo prende nome di *resistenza*.

Per dimostrare questa verità esaminiamo i fatti. Un corpo in riposo non comincia a muoversi senza una forza aggiunta; e se ciò non pare, la forza preesisteva, ma l'effetto ne era impedito ; rimosso l'impedimento,senz'altro avverrà il moto.Così un corpo sospeso ad un filo, o sorretto da un piano,non cade finchè non si recide il filo, o non si toglie il piano che distruggono la gravità.

In simil guisa un corpo in movimento non arrestasi per se medesimo senza una forza aggiunta , senza una resistenza ; cosicchè se questa non fosse, il moto non avrebbe fine. Ciò vien dimostrato osservando che quanto minore è la resistenza tanto più dura il moto. Spingete un corpo informe sopra un piano sparso di sabbia, all'istante si ferma; se poi togliete la ssbbia e successivamente riducete il corpo a forma sferica, e rendete il piano levigato, il moto durerà sempre più lungamente. La forza che si oppone al movimento in questo caso è *l'attrito*. Del pari un corpo sospeso ad un filo oscilla per più breve tempo nell'scqua che nell'aria, poichè questa , che dicesi *resistenza del mezzo* , è maggiore per l' acqua come più densa, che per l'aria.Sulla terra tutte le specie di movimenti finiscono perchè a tutti si oppongono delle resistenze, e per contraria ragione i rivolgimenti degli astri perdurano invariati. Da questa supposizione della inerzia della materia partono gli astronomi nel calcolare gli svariati movimenti de'corpi celesti: le conseguenze non sarebbero vere nè risponderebbero così maravigliosamente ai fatti se il principio fosse falso.

13. **Stato solido , liquido , aeriforme.** I corpi possono avere una triplice maniera di essere, o un triplice stato.Un corpo

è *solido*, allorchè le sue parti si tengono unite per tal modo che ne nasca una forma propria, la quale agevolmente non cambia per azione di forze esterne: ne forniscono esempio le pietre, i legni, i metalli in generale. É *liquido*, se le sue parti sono mobili con tutta facilità le une intorno alle altre, e prende forma dal recipiente che lo contiene, come il mercurio, l'acqua. È *aeriforme* quando, come l'aria, tende a spandersi indefinitamente.

Questi tre stati si chiamano *fisici*, perchè sono dovuti alla diversa intensità di azione di due forze fisiche opposte, *attrazione molecolare* e *calore*; ed inoltre perchè un medesimo corpo, restando invariata la sua natura chimica, può trovarsi in questi tre stati, come il ghiaccio, l'acqua, il vapore.

CENNO DI MECCANICA.

ELEMENTI E MISURA DELLE FORZE.

14. **Spazio, tempo, velocità.** Lo *spazio* è la linea percorsa dal mobile. Il tempo è la *durata del moto*, o la misura della successione nel movimento. Esso è un continuo successivo; e perciò l'istante non è parte del tempo poichè il continuo non à parti indivisibili, ma l'istante è nel tempo quel che il punto nella linea: possono assegnarsi infiniti istanti in un tempo finito, come infiniti punti in una linea; nondimeno chiamiamo istanti fisici le frazioni infinitesime di tempo. Più o men *veloce* dicesi il moto secondo che è maggiore o minore lo spazio percorso in un dato tempo; adunque la *velocità* è la relazione tra spazio e tempo.

15. **Elementi della forza.** Ogni forza spinge la unità di massa secondo una retta determinata; quella unità di massa è il *punto di applicazione* della forza, e quella retta la sua *direzione*. Il terzo elemento di una forza è la sua *intensità*, che va calcolata paragonandola ad un'altra scelta come unità di misura. Una forza è definita allorchè se ne conoscono i tre suoi elementi. Si rappresenta una forza mediante una retta, la cui direzione sia quella della forza, e la lunghezza sia proporzionale alla intensità.

16. **Relazione tra forza e velocità.** La velocità è nella

ragione diretta semplice della forza. Questa legge à bisogno di essere dimostrata; poichè quantunque sia evidente che la velocità debba subire do' cambiamenti, i quali rispondano in una qualche ragione ai cambiamenti della intensità della forza, non è del pari evidente che questa ragione di necessità sia la *diretta semplice*. Di leggieri però si dimostra. Infatti il moto relativo di due mobili non rimane turbato, se ad entrambi si aggiunge una forza comune (11). Ora ciò non avverrebbe se le velocità fossero in una qualunque altra ragione, fuorchè nella diretta semplice delle forze. Supponiamo ad esempio che sieno nella ragione de' quadrati; cosicchè se le forze sono rappresentate da 2 e 3, le velocità sieno 4 e 9. La differenza 5 esprime il moto relativo, o la velocità con la quale i due corpi si discostano. Abbiano ora i due mobili anche una forza comune uguale all'unità: per l'aggiunzione di questa le forze diventeranno 3 e 4, e le velocità, proporzionali per ipotesi ai loro quadrati, 9 e 16. Adunque si scosteranno con una differenza di velocità uguale a 7, cioè il moto relativo sarà differente da quel d'innanzi. Alla medesima falsa illazione saremmo condotti qualunque altra ragione ammettessimo tra forze e velocità tranne la diretta semplice.

17. **Quantità del moto.** Un corpo non è una unità di materia, ma una massa finita; e quindi non è difficile persuadersi che la massa modifichi il movimento, ed entri nella espressione della forza che lo produce. E in vero poichè ogni molecola è inerte, se si vuole che un corpo acquisti una velocità v fa d'uopo, che la forza sia tale un multiplo di v quante sono le unità di massa. O altrimenti, se f è la forza, ed m la massa, avremo

$$f = m\, v,$$

ossia la forza è in ragione composta della massa e della velocità. Questo prodotto chiamasi *quantità di movimento,* ed è la vera misura di una forza. Finchè costante è la forza, potranno cambiarsi in mille guise massa e velocità, ma non il loro prodotto; e perciò de' due fattori uno sarà in ragione inversa dell'altro.

Da questa espressione della forza si deduce che:

1.° Date due delle tre quantità, forza, massa, velocità, si conosce sempre la terza.

2.° Nel movimento di due corpi, se le masse sono uguali, le forze staranno come le velocità; se la velocità è comune, le forze stanno come le masse; se sono uguali le forze, saranno le veloci-

tà in ragione inversa delle masse. Si discorre perfettamente come determinammo le relazioni (9) tra massa densità e volume.

18. Forze istantanee e continue. Secondo la loro durata le forze sono *istantanee o continue*. Dicesi istantanea se l'azione se ne compie in un istante fisico; tali sono le forze d'impulso. Continua poi se l'azione dura un tempo finito, come la gravità, le attrazioni e ripulsioni elettriche e magnetiche, e simili.

COMPOSIZIONE E RISOLUZIONE DELLE FORZE.

19. Componenti, risultante. Allorchè più forze animano l'unità di massa o un sistema di molecole, è chiaro che il movimento, se à luogo, avviene secondo una sola direzione e con velocità determinata; cioè quale sarebbe prodotto da una forza sola equivalente a quelle molte. Una forza equivalente a più altre dicesi la loro *risultante*, e queste si chiamano le *componenti*.

20. Forze cospiranti e direttamente opposte. Le forze componenti si dicono *cospiranti* quando ànno la medesima direzione. E poichè nessuna di queste può cagionare impedimento all'azione delle altre, la risultante è uguale alla loro somma. Se poi le forze sono *direttamente opposte*, la risultante è uguale alla loro differenza ed è diretta nel senso della forza maggiore: e perciò quando sono uguali la risultante è zero. Quest' ultimo è il caso più semplice di quello stato che dicesi *equilibrio*, il quale consiste nella mancanza di moto perchè le forze si elidono.

21. Forze angolari. La risultante di due forze angolari è espressa dalla diagonale del parallelogrammo costruito sopra di quelle. Concorrano ad angolo due forze della medesima natura, e spingano la unità di massa A secondo le direzioni AB, AC, (fig. 7) e la loro intensità sia tale che in tempi uguali e successivi il punto A per la sola azione della forza AB si troverebbe in b, b', b'', B, e per la sola azione

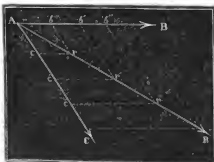


Fig. 7.

di AC in c, c' c'', C. Or se imaginiamo che il punto A si muova per la prima forza secondo la retta AB, mentre questa con moto parallelo si trasferisce secondo AC e con velocità proporzionale alla forza AC, è chiaro che il movimento del punto A in questo caso sarebbe come se le due forze agissero simultaneamente su di esso secondo la ipotesi del teorema. Laonde se pei punti c, c', c'', C si tirino cr, c' r', c'' r'', CR parallele ed uguali rispettivamente ad Ab,Ab',Ab'',AB,il punto A si troverà successivamente in r,r', r'',R.

Ma dalla somiglianza dei triangoli Acr, $Ac'r'$, Ac'' r'', ACR s'inferisce che i punti r,r',r'', R sono in linea retta, cioè nella diagonale AR del parallelogrammo ACRB costruito sopra le due forze. Adunque questa diagonale AR rappresenta la risultante delle due componenti AB, AC.

Col parallelogrammo delle forze è agevole comporre un numero qualunque di forze angolari (fig. 8) AB, AC, AD, AE a questo modo. La risultante AF delle due AB, AC si componga con AD: la risultante AG si componga con AE: laonde la forza AR sarà risultante delle quattro forze date; e così di seguito,se il numero delle componenti fosse maggiore.

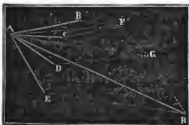


Fig. 8.

Di quì s'inferisce che crescendo o diminuendo l'angolo delle forze BAC, la risultante diventa minore o maggiore appressandosi come a limite alla differenza o alla somma delle componenti, quando l'angolo divenisse zero o 180° (20).

Se le due componenti sono uguali la risultante divide a metà il loro angolo; se inguali si avvicina alla componente maggiore.

22. Gli elementi del triangolo (fig.7) ABR danno le due componenti AB, BR (= AC), la risultante AR, e gli angoli che ciascuna di esse contiene con le altre due. Laonde in tanti modi una forza AR (fig.9) potrà risol-

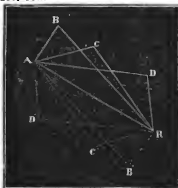


Fig. .9

versi in due concorrenti ad angolo, quanti sono i triangoli ABR, ACR ADR che possono costruirsi sul lato AR, poichè di altrettanti parallelogrammi BB′, CC′, DD′ la AR sarebbe diagonale: ma questi sono senza numero, e perciò il problema è indeterminato. Perchè sia determinato è necessario si definisca il triangolo ABR, cioè dalle condizioni del problema deve rilevarsi il valore di tre de' sei elementi del triangolo.

A più forte ragione sarebbe indeterminato il problema, col quale una forza volesse risolversi in più che due altre angolari.

23. *Applicazioni*. Frequentissimi ci si presentano gli esempî di composizione e risoluzione di forze angolari. Una nave, che raccomandata a due canapi è tirata per le rive opposte, vien su contro corrente per mezzo il fiume. Spingete nello stesso tempo una palla sur un piano orizzontale con due martellini, che con le loro direzioni formino angolo; il movimento della palla avverrà secondo la diagonale del parallelogrammo formato su due rette rappresentanti le direzioni e le intensità degli urti contemporanei.

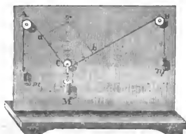


Fig. 10.

Similmente ad un piano verticale fissate due carrucole A, B (fig. 10), ed una corda che passa per esse sia tesa nelle sue estremità da due masse m, m'; scorra per la lunghezza della corda una terza carrucola C dalla quale pende un'altra massa M. Perchè il sistema sia in equilibrio, è necessario che l'azione della massa M sia uguale e direttamente opposta alla risultante delle due forze m, m'; cioè prese secondo CA, e CB le porzioni ca, cb proporzionali alle masse m, m', e descritto il parallelogrammo ab, la risultante cr rappresenterà il numero delle unità di massa, cui deve contenere M ad equilibrar le due m, m'.

24. Al parallelogrammo delle forze si riduce la composizione di due forze AA′, BB′ (fig. 11) applicate a due unità di massa invariabilmente congiunte tra loro, delle quali le direzioni concorrono nel punto R. Poichè congiunto invariabilmente il punto R co' punti A e B, si trasferisca in R l'applicazione delle due forze date conservan-

do la medesima intensità, e direzione. È chiaro che le due RM, RN saranno equivalenti alle forze date, e perciò costruito il parallelogrammo MN la diagonale RR′ rappresenterà la loro risultante.

25. **Forze parallele**. Le due forze parallele AA′, BB′, (fig. 12)

Fig. 11.

Fig. 12.

sieno applicate ai due punti A, e B tra loro congiunti invariabilmente. Per trovarne la risultante, aggiungansi altre due forze uguali e direttamente opposte AC, BC′; queste non produrranno effetto, e perciò il sistema delle quattro forze AA′, AC, BB′, BC′, o le loro risultanti AD, BD′ saranno equivalenti alle due forze date. Protratte le direzioni di AD, BD′ sino al punto d'incontro R, in questo si trasferisca la loro applicazione; e poi fatte passare per R due rette, l'una parallela ad AB, l'altra parallela alle forze date, secondo esse si decompongano RP, RP′ nelle quattro RN, Rq, RN′, Rq′. Ma le due RN, RN′ come uguali e direttamente opposte van distrutte; dunque le altre Rq, Rq′ sono equivalenti ad AA′, BB′. Or quelle sono cospiranti, parallele ed uguali ad AA′, BB′; adunque *la risultante delle forze parallele ne uguaglia la somma e loro è parallela.*

Inoltre per essere simili i triangoli AA′D, RSA e simili pure BB′D′ RSB abbiamo le proporzioni

$$AA' : A'D' :: RS : SA \qquad BB' : B'D' :: RS : SB,$$

e da queste nascono le uguaglianze de' prodotti

$$AA' . SA = A'D' . RS \qquad BB' . SB = B'D' . RS.$$

Ma $A'D' = B'D'$, perciò dall'essere uguali i secondi membri si avrà

$$AA' . SA = BB' . SB,$$

donde inferiremo la proporzione

AA' : BB' : : SB : SA,

cioè: *la direzione della risultante di due forze parallele taglia la distanza tra i punti di applicazione in parti inversamente proporzionali alle forze stesse.*

Il punto S, nel quale si può applicare la risultante, dicesi *centro* delle forze parallele. Dalla proporzione or ora dimostrata s'inferisce, che questo punto non cambia se rimanendo la intensità delle componenti parallele e le posizioni de'punti cui sono applicate, varii comunque la loro inclinazione alla retta AB.

26. Se la seconda forza si dirigesse secondo BB'', si perverrebbe alle stesse conseguenze, tranne che Rq, Rq' sarebbero direttamente opposte. Dunque *la risultante delle forze parallele ed opposte è uguale alla loro differenza, e si dirige nel senso della forza maggiore.* Se dippiù fossero uguali, la loro risultante sarebbe nulla; esse non produrrebbero movimento di traslazione, ma possono generare rotazione intorno a un centro. Questi speciali sistemi di forze ànno ricevuto dai meccanici il nome di *coppie.*

27. Abbiasi un sistema d'un numero qualunque di forze parallele: componendole due a due è agevole trovarne la risultante. Sarà uguale alla somma se tutte ànno la medesima direzione; se alcune vanno per un verso altre per lo contrario, sarà uguale alla differenza tra le prime e le seconde. Il centro del sistema non cambierà, se rimanendo le altre condizioni gireranno le forze intorno ai loro punti di applicazione.

28. Di leggieri si comprende che il problema della risoluzione di una forza in due parallele è indeterminato, se non si danno i punti di applicazione delle componenti: molto più se il sistema debba esser composto d'un numero maggiore di forze.

DIVERSE SPECIE DI MOVIMENTI.

29. Il moto può essere molteplice secondo che si à riguardo alla direzione o alla velocità. In quanto alla direzione consideriamo il moto per una linea retta, per un poligono, e per una linea curva. Rispetto alla velocità si divide in uniforme e vario.

30. Moto rettilineo. Allorchè una forza sola spinge un mobile in un mezzo omogeneo, poichè quello è inerte e incontra sempre e per ogni verso la medesima resistenza, non devierà dalla

prima impressione ricevuta, e la direzione del moto sarà la stessa che quella della forza, ossia il movimento sarà *rettilineo*.

31. Moto rifratto. Se il mobile da un mezzo passa in un altro di densità differente, devia dalla direzione rettilinea; e il moto dicesi *rifratto*. La legge è la seguente. Se da un mezzo meno denso penetra in uno più denso, si allontana dalla perpendicolare tirata alla superficie di separazione de'due mezzi nel punto d'incontro ; avviene il contrario quando da un mezzo più resistente penetra in un altro che lo è meno. Movendosi ad esempio il mobile M (fig. 13) secondo MI nell'aria incontri la superficie dell' acqua SS'; invece di proseguire secondo IM' andrà secondo IR allontanandosi dalla normale NN' tirata nel punto d' incidenza I sulla superficie SS'.



Fig. 13.

Ciò accade quando il mobile cade obbliquamente sulla superficie che divide i due mezzi; se la incontrasse normalmente, continuerebbe in direzione rettilinea sebbene con minore velocità.

32. Moto riflesso. Quando un mobile M (fig. 14) andando per MI incontra un ostacolo, ad esempio il piano SS', che non permettendogli d'inoltrarsi il fa rimbalzare , *si riflette* per IM'. Questo moto riflesso à luogo con le due leggi seguenti :

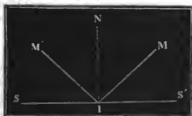


Fig. 14.

1.° Le direzioni MI, IM' sono nel medesimo piano con la normale NI tirata nel punto d' incidenza sulla superficie SIS'. Questo piano dicesi *di riflessione* , mentre la superficie SIS' chiamasi *riflettente*.

2.° L'angolo d' incidenza NIM è uguale all'angolo di riflessione NIM'.

S'intende che cadendo il mobile secondo la normale NI, gli angoli d' incidenza e di riflessione sarebbero nulli, e il mobile si rifletterebbe per la medesima via.

Per dimostrare sperimentalmente queste leggi abbiasi un piano orizzontale PNP' (fig. 15) per esempio di marmo a foggia di semicerchio, e verso il centro C sia fissato un ostacolo verticale. Per la periferia di quello scorrano due tubi cavi t, t' animati da molle, che abbiano i loro assi diretti al centro C, e possano fissarsi dove piace mercè viti di pressione. Se da uno di essi si

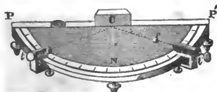


Fig. 15.

spinge una pallina di avorio p, questa incontrato l'ostacolo C si rifletterà per modo da entrare nell'altro tubo formando con la normale CN angoli uguali. Se è spinta secondo NC, ritorna pure per CN.

Tal movimento con le sue leggi è prodotto da una forza speciale denominata *elasticità*, della quale appresso ci occuperemo.

33. **Moto uniforme.** Dicesi *uniforme* il movimento, se la velocità è costante: con esso il mobile in tempi uguali percorre spazi uguali. Per che se in dato tempo si vuole che un mobile percorra spazio maggiore o minore, conviene che la velocità varii come lo spazio; e se lo stesso spazio deve esser descritto in tempi diversi, richiedesi velocità di tanto maggiore o minore di quanto più breve o più lunga è la durata del tempo. Ciò significa che la velocità è nella ragione diretta dello spazio, e inversa del tempo; laonde chiamando v, s, t, velocità, spazio e tempo, sarà espressa la natura del moto uniforme con la equazione

$$v = \frac{s}{t},$$

dalla quale si ricava

$$s = vt,$$

ossia « nel moto uniforme lo spazio è nella ragione composta della velocità e del tempo ».

Da queste espressioni si deduce come paragonare tra loro due movimenti uniformi, e si determina in essi la relazione tra due di

quegli elementi velocità, spazio, e tempo, quando il terzo è costante (9). Si dimostreranno i teoremi che seguono :

1.° Gli spazî percorsi nel medesimo tempo sono nella ragione diretta semplice delle velocità.

2.° Gli spazî percorsi con la medesima velocità sono nella ragion diretta semplice de'tempi.

3.° Un medesimo spazio vien descritto con diverse velocità, che sono nella ragiono reciproca de'tempi.

Delle cose dette è necessaria conseguenza, che una forza istantanea produca movimento rettilineo e uniforme.

34. **Moto vario**. Il movimento prodotto da una forza continua non è più con velocità costante; e dicesi *vario*. La forza con la diuturna sua azione accresce o diminuisce la velocità ; il moto sarà *accelerato* o *ritardato*, e la forza ugualmente *acceleratrice* quando la direzione del moto è la stessa che quella della forza, *ritardatrice* quando le direzioni del moto e della forza sono contrarie. Cada una pietra liberamente al suolo in virtù del suo peso, e avrete nella gravità una forza acceleratrice: spingete in su la pietra, e l' azione della gravità sarà quella di una forza ritardatrice.

35. **Moto uniformemente accelerato**. Se la forza continua è costante, è chiaro che in tempi uguali e successivi produrrà uguali accrescimenti o sottrazioni di velocità, e il movimento che ne nasce sarà *uniformemente* accelerato o ritardato.

Per esprimere la natura di questo moto ed avere le relazioni tra velocità, spazio e tempo, rappresentiamoci l'azione della forza continua a questo modo : ch'essa rinnovelli i suoi impulsi solamente al principio di ciascuna di quelle frazioni infinitesime di tempo, nelle quali s'intende diviso tutto il tempo t, durata del movimento. In ciascun tempetto infinitesimo il moto sarà uniforme. L'elemento φ di velocità dovuto ad ogni impulso è costante se la forza continua è costante; laonde nelle frazioni di tempo

$$1,\ 2,\ 3,\ 4,\ \ldots\ldots\ t$$

le velocità del mobile saranno

$$1\,\varphi,\ 2\,\varphi,\ 3\,\varphi,\ 4\,\varphi\ \ldots\ldots\ t\,\varphi.$$

Adunque la velocità v alla fine del tempo t sarà espressa da

$$v = t\,\varphi.$$

Inoltre quegli elementi di velocità per le successive frazioni di tempo saranno proporzionali agli spazî percorsi, e potranno rappre-

sentarli; laonde lo spazio totale s si otterrà sommando quella progressione per differenza; avremo cioè (*)

$$s = \frac{1}{2}\varphi\ t^2.$$

Sostituendo nella prima equazione il valore di t ricavato dalla seconda, si otterrà la relazione tra velocità, forza e spazio, ossia

$$v^2 = 2\ \varphi\ s.$$

Queste tre equazioni

$$v = t\varphi,\ s = \frac{1}{2}\ \varphi t^2, v^2 = 2\varphi s$$

esprimono la natura del moto uniformemente accelerato, e bastano alla soluzione di tutti i problemi che lo riguardano.

36. Le leggi di questo movimento sono le seguenti:

1.° La velocità è proporzionale al tempo.

Ricavasi dalla prima equazione poichè φ è quantità costante.

2.° Gli spazii descritti nell'intero movimento sono proporzionali ai quadrati de'tempi.

S' inferisce dalla seconda; e vuol dire che se i tempi, p. e. i minuti, costituiscono la serie de'numeri naturali

1, 2, 3, 4, 5 .....

gli spazii descritti in essi formeranno la serie de'numeri quadrati

1, 4, 9, 16, 25 ......

donde è agevole dedurre che gli spazii percorsi nelle parti uguali e successive di tempo, cioè nel primo minuto, nel secondo, nel terzo ecc. costituiranno la serie de'numeri dispari

1, 3, 5, 7, 9 ....

3.° Se alla fine del tempo t cessi in un attimo l'azione della forza acceleratrice, il mobile proseguirà nel suo cammino con moto uniforme, e in un tempo eguale percorrerà uno spazio doppio di quello descritto antecedentemente con moto accelerato.

(*) Ci si permetta questa annotazione a pro de'meno provetti.

In ogni progressione per differenza, come in quella de'numeri naturali

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,

la somma di due termini ugualmente distanti dal medio è costante: adunque se ne avrà la somma sommando quelle coppie, cioè moltiplicando la somma del primo ed ultimo termine per la metà del numero de' termini. Quindi la somma di quella serie sarà

$$(1\varphi + t\ \varphi)\frac{1}{2}\ t,\ \text{ossia}\ \frac{1}{2}\ \varphi\ t^2$$

svanendo 1φ quantità infinitamente piccola accanto a $t\ \varphi$ grandezza finita.

che debba durare il movimento, e che questo sia uniforme, si à dalla inerzia: che lo spazio sia doppio va dimostrato a questo modo. Nel moto accelerato lo spazio descritto era (35)

$$s = \frac{1}{2} \varphi t^2;$$

invece sostituendo nella espressione dello spazio descritto con moto uniforme $s = vt$ (33) alla velocità indeterminata v quella, che il mobile à acquistata allorchè si arresta la forza continua dopo il tempo t, ossia φt, essa diventerà φt^2, che à valore doppio.

37. Le formole esprimenti la natura del moto uniformemente accelerato apparterranno anche al moto ritardato sol che la forza φ si assuma col segno negativo. Con ciò si esprime appunto che la direzione del moto è contraria a quella della forza (34). Trattando della gravità addurremo esempli di queste specie di moto.

38. **Moto per un poligono.** Una forza sola non producendo altra specie di movimento fuorchè il rettilineo, un mobile non descriverà un poligono senza che a dati intervalli si cambi la direzione della forza, o altra ne sopraggiunga. Sia spinto il mobile M simultaneamente per MA ed MB (fig. 16); andrà per la risultante MM′ diagonale del parallelogrammo BA; e se altra forza non sopravvenisse seguiterebbe in direzione rettilinea, e con moto uniforme in un tempo ugnale descriverebbe M′D= MM′. Ma in M′ aggiunto un nuovo impulso M′E percorrerà la diagonale M′M″ risultante di M′ D, e M′ E. Similmente continuerebbe per M″F, ma a motivo della nuova spinta M″ G andrà per M″ M‴, e quindi per M‴ Mᴵᵛ, descrivendo così il poligono M M′ M″ M‴ Mᴵᵛ...



Fig. 16.

Questo poligono avrà forme svariatissime secondo la intensità e la direzione delle forze, e gl'intervalli di tempo tra gl'impulsi successivi.

39. **Moto curvilineo.** Se gl'intervalli tra le successive spinte delle forze sono tempi infinitamente piccoli, gli spazii percorsi saranno anch'essi infinitesimi; laonde è facile il passaggio dal moto per un poligono a quello per una curva. La continuità di una delle forze ben sodisfa all'ipotesi del rinnovamento di azione a differenze infinitesime di tempo.

Sono molte le condizioni delle forze che possono produrre movimento curvilineo. La più semplice è che il mobile sia spinto da due forze, continua e costante l'una, l'altra istantanea. Agiscano dunque sulla massa M due forze (fig. 17); una istantanea che à nome di forza di *proiezione* secondo MX, e tale d'intensità che in virtù di essa nelle unità successive di tempo percorrerebbe gli spazii uguali MA, AB, BX; e una forza continua, di cui l'elemento è MD. Ripetendo il ragionamento che poc'anzi, si avrà il poligono M M' M'' M'''M^{IV}... il quale nella ipotesi presente rappresenterà una curva detta *traiettoria*. Se la forza continua è costante, gli elementi M D, M' E, M''F, M'''H sono eguali.

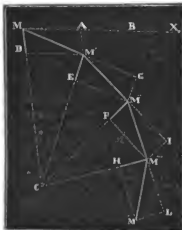


Fig. 17.

Forza tangenziale. Se in un istante qualunque del moto curvilineo la forza continua cessasse di agire, il mobile proseguirebbe nella direzione e con la velocità che avea nel tempetto precedente, ne andrebbe cioè per la tangente alla traiettoria, e con moto uniforme. *Tangenziale* dicesi la forza, per cui il mobile tende a fuggire per la tangente.

40. **Moto centrale**. Se i successivi impulsi della forza continua sono diretti ad un medesimo punto C, essa dicesi *centrale* o *centripeta:* e *raggi vettori*, le distanze CM, CM' ..... La traiettoria rivolgerà la sua concavità al centro C.

In meccanica vien dimostrato che se un corpo è sollecitato da una forza istantanea e da una continua, la quale sia drizzata a un punto fisso, e segua la ragione diretta delle masse e la inversa dei quadrati delle distanze, quel corpo descrive intorno al centro una curva conica; e vicendevolmente se un corpo descrive intorno a un centro una curva conica, sarà spinto da quelle due forze.

In quanto alla velocità essa è costante, e perciò il moto è uniforme, se è retto l'angolo del raggio vettore con la forza tangenziale; il moto sarà accelerato o ritardato se quell'angolo è acuto o ottuso. Quindi il movimento per un cerchio è uniforme, quello per

per una ellisse è variabile poichè i raggi vettori menati da uno de' fuochi a varii punti dell' orbita formano colla tangente angolo ora retto, ora ottuso, ora acuto.

41. Forza centrifuga. Nel movimento curvilineo è da considerare anche un' altra forza, che spinge il mobile a fuggire dal centro, e vien detta *centrifuga*. Essa è diversa dalla tangenziale, di cui a buon dritto si riguarda come una componente. Imperocchè la forza tangenziale in un istante qualunque può risolversi in due, una secondo l'elemento della traiettoria, e produce il suo effetto, l'altra, che è la centrifuga, in direzione contraria della centripeta, dalla quale è distrutta.

Nel moto circolare massimamente i caratteri della forza centrifuga si rendono evidenti, e perciò da esso ne tolse Huyghens la giusta idea. Se alla estremità d'un filo si lega un corpo e si spinge con forza perpendicolare alla sua lunghezza, mentre esso gira per un cerchio, che à per raggio il filo e per centro il punto cui è fissato, il filo sarà teso con forza più valida di quella che agiva quando il corpo era in riposo. Questa è la forza centrifuga, e viene distrutta dalla resistenza del filo, che fa le veci della forza centripeta (39) necessaria al movimento curvilineo, e nella intensità le è uguale.

Rappresenti CM la lunghezza del filo (fig. 18), M il corpo che descrive un cerchio intorno al centro C, MN l'arco percorso in una frazione infinitesima di tempo, MP l' elemento della forza tangenziale, Mq l' elemento della forza centripeta. La forza centrifuga sarà MR, di cui la intensità è uguale a Mq. Adunque la espressione della forza centripeta sarà anche quella della centrifuga. Or si avverta che la espressione generale della forza continua è (35)

$$\varphi = \frac{2s}{t^2}$$



Fig. 18.

Relativamente alla forza centripeta lo spazio s sarebbe l'elemento Mq; e poichè si conosce dalla geometria esser la corda, ossia l' arco infinitesimo MN, medio proporzionale tra Mq e il diametro, perciò indicando con r il raggio avremo

$$s = \frac{\overline{MN}^2}{2r};$$

pel quale valore la precedente equazione diventerà

$$\varphi=\frac{\overline{MN}^2}{t^2 r}$$

Ma $\frac{MN}{t}$, o la ragione dello spazio descritto al tempo, esprime la velocità; se questa dunque dicasi v, avrem finalmente

$$\varphi=\frac{v^2}{r}.$$

Siccome nel medesimo cerchio il raggio è costante, la forza centrifuga è proporzionale al quadrato della velocità (*).

42. *Dimostrazione sperimentale.* Si comunichi un movimento di rotazione rapida al pernio *a* (fig. 19, mercè due ruote di differente diametro R, *r*, per le cui scanalature corre una corda tesa: i numeri di rivolgimenti delle due ruote nel medesimo tempo sono in ragione inversa delle circonferenze.

Fig. 19.

Sul pernio *a* possono collocarsi successivamente e rotare con esso differenti apparati.

1.° Il primo è una verga disposta orizzontalmente, nella quale s' infilzano tre palle p. e. di avorio *b*, *c*, *d* (fig. 20). Se quella di mezzo *c* à il centro nell'asse di rotazione, appena il sistema si mette in movimento, le palle *b*, *d* si scosteranno dal centro spinte per la forza centrifuga contro i sostegni laterali; ma la media resta al suo posto, poichè i suoi varii punti simmetrici intorno all'asse sono animati oppostamente da forze centrifughe uguali.

Fig. 20.

Se s' infilzano nella verga due palle ineguali legate insieme, e collocate di quà e di là ad eguale distanza dall' asse di rotazione, la maggiore trarrà seco la minore: laonde *la forza centrifuga è in ragione della massa.*

2.° Il secondo apparato (fig. 21) è un asse verticale, alla estremità del quale C sono unite a cerniera, e perciò ad angolo varia-

(*) Se la traiettoria è una curva qualunque, la espressione della forza centrifuga sarà la stessa, ed *r* sarebbe il raggio del cerchio che si confonde col l'elemento infinitesimo della curva detto cerchio *osculatore*.

bile, due verghe che sostengono due palle *a*, *b*. Quando gira il sistema, le palle si scostano dall'asse, e più o meno secondo la velocità. Su tale principio è fondato il così detto *regolatore a forza centrifuga*.

3.° Il globo di cristallo A (fig. 22) contiene acqua o altro liquido. Nell'atto di rotare l'acqua è spinta e si solleva contro le pareti e l'aria si unisce verso il centro.

4.° Fenomeno somigliante osservasi col quarto apparecchio costituito da due tubi di cristallo CA, CB (fig. 23) leggermente incli-

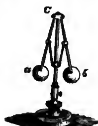


Fig. 21.



Fig. 22.

nati verso il centro C, e contenenti acqua in C*m*, C*n*. Rotando cambiano posto l'aria e l'acqua; l'acqua ascende in A e B, e l'aria va al basso.

Così pure versando in ciascun tubo due liquidi di densità diffe-

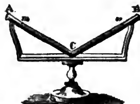


Fig. 23.

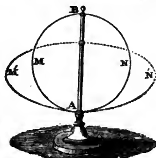


Fig. 24.

rente, e non atti a mescersi, come acqua e mercurio, il più denso, il mercurio, va su, e nel basso scende il meno denso, l' acqua. Adunque la forza centrifuga è in ragione della densità.

5.° La molla circolare d' acciaio MN (fig. 24) sia fissa nell' asse AB inferiormente, e libera a scorrere per quello con la estremità

superiore. Allorchè velocemente gira intorno all' asse stesso, si schiaccia prendendo la forma ellittica M'N', la quale è tanto più allungata quanto è più rapido il moto rotatorio. La ragione del fatto è che mentre la molla compie una rotazione intorno all'asse, tutt'i punti di essa descrivono altrettanti cerchi, de' quali è raggio la distanza da quello: or andando dagli estremi inferiore e superiore della molla verso il mezzo cresce la velocità, poichè diventa maggiore la distanza dall'asse: ed accrescendosi insieme la forza centrifuga, i punti più lontani dall' asse di vantaggio se ne scostano, donde conseguita che la molla si schiaccia.

43. Applicazioni della forza centrifuga. Se un vaso con acqua si leghi alla estremità di una corda ed impugnando l'altra estremità si faccia girare come una fionda in un piano verticale, l'acqua non cade comunque sia inclinato il vaso, e neppure quando è interamente capovolto. Ciò accade perchè l'acqua sostiene insieme l' azione della gravità e della forza centrifuga: nel punto culminante le due forze sono direttamente opposte, e la seconda supera la prima.

Uno scudiero nell' atto di addestrare il cavallo risente l' effetto della forza centrifuga: per ritenerlo nel cerchio la sua mano soffre ed esercita una trazione quadrupla se la velocità di quello si raddoppia. E quando gioca in piedi sul cavallo che gira rapidamente non si colloca in posizione verticale, ma inclinato più o meno in dentro verso il centro del cerchio. Questa direzione è quella della risultante delle due forze che agiscono sovr' esso, cioè il peso del suo corpo che è verticale, e la forza centrifuga ch'è orizzontale: la quale risultante rimane elisa quando passa pel punto di appoggio. Anzi allorchè il moto è stranamente rapido lo scudiere si poggia appena sul fianco del cavallo dall' interno lato.

Talvolta rotando una mola di arenaria senza cagione apparente si riduce in minuzzoli; ed è quando la velocità eccede un certo limite, perchè la coesione vien superata dalla forza centrifuga.

Cagione dello schiacciamento della terra. L'ultimo apparecchio n. 5. à acquistato celebrità perchè con esso ci rappresentiamo la cagione della forma del nostro pianeta. È dimostrato che la terra è sollevata all' equatore, schiacciata ai poli. Infatti con accuratissime osservazioni misurando varii gradi del medesimo meridiano si è trovato non essere uguali, come avverrebbe se la terra fosse sferica, ma andar diminuendo dall'equatore ai poli. (51. Nota) Af-

fin di spiegare questo schiacciamento si ricorre allo stato primitivo del globo, allorchè esso ancor liquido o pastoso per l' enorme innalzamento di temperatura corrispondente alla forte affinità degli elementi combinatisi insieme, era capace di cangiar figura ubbidendo all'azione della forza centrifuga ineguale sviluppatasi nel suo moto diurno, massima all'equatore, minima ai poli. Intervenne all'oceano igneo terrestre quel medesimo che ora sappiamo accadere alle acque del mare, le quali si trovano in somigliante condizione, ed ànno ugualmente la superficie sollevata all' equatore, schiacciata ai poli, per effetto della forza centrifuga. Imaginiamo per poco che la terra di presente cessi di girare intorno al suo asse senza cangiamento di forma nei continenti, e le acque del mare immantinenti si ritireranno dall'equatore e si accumuleranno verso i poli per acquistare la forma sferica loro dovuta. Lanciata poi quella massa incandescente negli spazii celesti, de'quali la temperatura è bassissima, di 60° sotto zero, si è andata raffreddando nella superficie ; ma la crosta solida, perchè assai malamente conduce il calore, à impedito che l'interno si raffreddasse. Questo si conserverebbe tuttora nello stato d'incandescenza e di fusione; i torrenti di lave eruttate da' vulcani ne danno indizio, e forse anche in parte sono effetto della forza centrifuga.

Due fatti militano in appoggio di questa opinione. Il primo si è aver avuto la terra in altra epoca temperatura più elevata che non al presente. Ce 'l rivelano gli animali e più i vegetali fossili residui della vita e della vegetazione antica, i quali sono stati disotterrati in paralleli, di cui l'attuale temperatura non sarebbe adatta al loro sviluppo: gli analoghi incontransi nelle regioni equatoriali. In secondo luogo scendendo sotto la superficie della terra prima si rinviene uno strato di temperatura invariabile in qualunque stagione; e poi la temperatura va sempre crescendo con la profondità a un di presso con questa legge dell' aumento di un grado per ogni 30 metri, come sarà detto nella fisica terrestre.

COMUNICAZIONE DEL MOVIMENTO E RESISTENZA DEL MEZZO.

44. Comunicazione del movimento. Le forze nel determinare al moto i corpi non sono applicate d' ordinario in modo diretto che a un piccol numero di parti : queste, ricevuta la impressione della forza, comunicano velocità alle altre, e così di se-

guito. Infatti un proiettile solo in una porzione della superficie riceve impulso dalla forza espansiva degli aeriformi, che si generano nell' accendersi la polvere da sparo : dicasi altrettanto di qualunque urto, e il più delle volte anche delle forze continue. In simil guisa nel moto delle macchine la forza motrice è applicata a una corda, a un pedale, a uno stantuffo; ed è poi maraviglioso come un solo motore, p. e. il vapore o l' acqua, comunichi il moto in un opificio ad indeterminato numero di svariati apparecchi.

Adunque per avere piena contezza del moto fa d' uopo studiare le leggi con le quali si comunica. Noi sarem contenti di farlo relativamente all'urto de'corpi.

45. **Diverse maniere di urto.** I meccanici distinguono l'urto in *diretto* e *obbliquo*, secondo che la linea dell'urto è perpendicolare o altrimenti inclinata alla superficie de'corpi. Dicesi pure l' urto *centrale* quando quella linea passa pel centro di gravità del corpo; nel caso contrario vien detto *eccentrico*.

46. *Tempo richiesto alla comunicazione del moto.* Tra l' istante nel quale le superficie dei corpi si toccano nell' urto, ed il moto che ne vien prodotto, deve di necessità intercedere un certo tempo. Questa verità è conseguenza del cedersi gradatamente velocità da molecola a molecola : nella idea di successione s' include quella del tempo.

Laonde se la velocità impressa dalla forza è grande oltre un certo limite, può essa determinare al moto le parti cui è direttamente applicata pria che le rimanenti ne abbiano acquistata porzione; quelle prime si distaccano e tutto il corpo resterà in riposo. Di qui si spiega perchè tirando contro una lastra un colpo di archibugio a piena carica e dappresso, può la palla forare la lastra senza frangerla, anzi senza che neppure oscilli se sia sospesa ad un filo; mentre tirando da lungi o a mezza carica o solamente spingendo la palla a mano, la lastra sarebbe ridotta in minuzzoli. Per la medesima ragione non può un proiettile mercè la esplosione di un'arma da fuoco lanciarsi così che porti seco una corda: la corda si staccherebbe senz' altro dalla palla. È ben vero che per apportare distruzione nelle file nemiche si usarono le palle unite con catena, ma introducendo le palle insieme e la catena nella cavità del cannone perchè simultaneamente ricevessero la spinta. Il capitano Carter nell'idea di arrecare all'istante soccorso ai naufraghi in distanza dal lido è riuscito a disporre in tale curva una corda

da opporre il minimo di resistenza alla palla, e così poterla seguire senza spezzarsi.

47. **Leggi dell'urto de' corpi.** Determiniamo la relazione tra le masse e le velocità prima e dopo l'urto: sia questo diretto e centrale, e supponiamo i corpi di forma sferica, non capaci di altro movimento tranne quello di traslazione, e privi di elasticità.

In primo luogo i corpi si muovano nella medesima direzione: dette M,M' le loro masse, e V,V' le velocità, la quantità totale di movimento prima dell'urto, o il prodotto di ciascuna massa per la velocità da cui è animata (17), sarà MV + M'V'. Venendo poi a urtarsi, la spinta non cesserà finchè non si muovano entrambi con eguale velocità: dettala x, la quantità di moto dopo l'urto diventerà x (M+M'). Ma rimanendo le stesse le forze, le quantità di moto che ne sono la misura resteranno le medesime, comunque diversamente si rappresentino; avrem dunque

$$x\,(M+M') = MV+M'V',$$

donde

$$x = \frac{MV+M'V'}{M+M'},$$

ossia « la velocità comune dopo l'urto è uguale alla somma delle quantità di movimento delle due masse prima dell' urto divisa per la somma delle masse ».

Se i corpi muovonsi in direzioni contrarie, si esprimerà questa condizione cambiando il segno a una delle due velocità, p. e. a V'. Quindi la formola generale in ambe le ipotesi è

$$x = \frac{MV \pm M'V'}{M+M'}.$$

Esaminiamo i casi particolari:

1.° Si muovano i corpi nella medesima direzione, e sieno uguali: avremo M=M' e

$$x = \frac{M(V+V')}{2M} = \frac{V+V'}{2},$$

ossia « *la velocità comune dopo l'urto è la semisomma delle velocità de' due corpi prima dell' urto* ». Poniamo che l' un di essi avesse percorso 6 metri in 1", e l'altro 4; ciascuno dopo l'urto descriverà la metà della somma 6+4, val dire 5.

2.° Si muovano in direzioni contrarie, e inoltre sieno uguali le masse M,M', uguali le velocità V,V'. Ne conseguirà MV=M'V', MV—M'V'=0, e x=0; cioè « *le velocità uguali e contrarie si distruggono, e le due masse restano in riposo* ».

Il medesimo accadrà in qualunque altra ipotesi svanisca il numeratore $MV-M'V'$, o si abbia $MV=M'V'$, o stia

$$M:M'::V':V,$$

ossia « *quante volte le masse sono in ragione reciproca delle velocità, non vi sarà movimento dopo l'urto* ».

3.° Una delle masse p. e. M' sia in riposo, avremo $V'=0$, e

$$x=\frac{MV}{M+M'};$$

cioè « *la velocità comune dopo l' urto starà alla velocità primitiva della massa* M *come questa alla somma delle masse* ».

Laonde sarà sempre possibile per mezzo di una piccola massa metterne in moto un'altra comunque grande ; e il problema si risolve spingendo la prima con velocità tanto maggiore di quella si vuol comunicare alla seconda, per quanto questa seconda massa è maggiore della prima. Se p. e. con palla da fucile (del peso d'una oncia) si vuole che una palla da *trentasei* (trentasei libbre=432 once) acquisti velocità di due metri per 1'', fa d'uopo imprimere a quella una velocità di 866 metri in 1''. Su questo ragionamento è fondata la costruzione del *pendolo balistico.* Esso consiste in una grossa palla di ferro pendente da una verga mobile con moto di rotazione intorno al suo punto di sospensione : termina in giù a punta , la quale lascia sopra un quadrante coperto di cera traccia del suo movimento. Tirando contro la palla un proiettile, si argomenta la velocità di questo dalla lunghezza dell'arco descritto dal pendolo.

Solamente quando la massa urtata fosse infinitamente grande rispetto alla urtante, allora il moto comunicato non sarebbe avvertito, perchè infinitesimo. Poichè si avrebbe

$$x=\frac{V}{\infty}=o.$$

Per questa ragione non vacilla sensibilmente una torre o una roccia colpita da un proiettile; nè la caduta degli *aeroliti* altera il moto della terra.

48. Resistenza dei mezzi. Le leggi del moto esposte fin qui sono vere allorchè un corpo si muove nel vuoto ; non così se trovasi in un mezzo qualunque liquido o aeriforme. Primamente le spinte che il corpo riceve dal mezzo affievoliscono l' effetto della forza; e noi studieremo altrove il principio e le leggi di questa maniera di resistenza. In secondo luogo il corpo nel muoversi deve

comunicare velocità alle parti del mezzo che gli cedono il posto; questa è propriamente la così detta *resistenza del mezzo.*

Siffatta resistenza è in ragione diretta della densità del mezzo, e del volume del corpo; poichè con questi elementi varia ugualmente il numero delle molecole sottraenti velocità. Dipende pure dalla forma del corpo, ma senza una certa legge; chè cangiandosi quella in mille modi, è differente pure la direzione e la maniera di moto comunicato. Finalmente quella resistenza è come il quadrato della velocità. Infatti si rifletta che, se ad esempio la velocità del corpo diviene doppia di quel che era per lo innanzi, esso non solo nello stesso tempo incontrerà e sposterà un numero doppio di molecole, ma comunicherà loro anche il doppio di velocità. Dunque per essere doppia la massa e doppia la velocità comunicata, la quantità di moto perduto sarà quadrupla. Vale il medesimo ragionamento per qualunque altra ipotesi di variazione nella velocità.

La resistenza del mezzo è una forza continua e ritardatrice. Laonde un mobile spinto da una forza istantanea andrà cedendo per gradi la sua velocità alle molecole del mezzo; il suo moto sarà ritardato, e finalmente si arresterà, perduta tutta la velocità iniziale. Se poi è spinto da una forza continua, e parte dalla quiete, la velocità dapprima andrà crescendo, ma poi aumentandosi la resistenza in ragione de' quadrati si perverrà a tale, che la resistenza uguagli la forza acceleratrice; da quel punto il moto diventerà uniforme. Ciò si avvera in tutte le macchine.

È bello osservare che siccome in niuna congiuntura si annientano i corpi in natura, ma si trasformano perennemente con le molteplici analisi e sintesi gli uni negli altri, così pure la distruzione apparente del moto non è altra cosa che vera comunicazione dall'uno all'altro corpo.

LIBRO PRIMO

GRAVITÀ.

49. **Varie specie di attrazione.** I corpi inerti e meramente passivi (12) in virtù dei soli attributi essenziali, sono per contrario nella natura in continuo moto. È mestieri dunque ammettere delle forze che agiscano sovr'essi. Tutt'i corpi e le loro parti scambievolmente si attraggono con una forza che va diversamente considerata. Essa agisce sulle grandi masse che formano il nostro sistema solare, e prende nome di *attrazione* o *gravitazione celeste*. Si esercita tra i corpi che compongono la terra, e vien detta *attrazione* o *gravità terrestre*. Si attraggono tra loro le minime particelle che costituiscono i corpi, e la forza si chiama *attrazione molecolare* o *omogenea*. Si attraggono pure le particelle eterogenee, sicchè da un numero ben ristretto di corpi semplici vediamo nascere la infinita moltiplicità dei corpi composti, e quest' ultima forza di attrazione è detta *eterogenea* o *affinità chimica*.

Della gravitazione celeste e delle sue leggi si occupano gli astronomi; alla fisica essa appartiene solo per incidente, in quanto à relazione colla gravità. I chimici studiano l'attrazione eterogenea. La fisica dunque non considera che la gravità terrestre, e l'attrazione molecolare.

50. **Tutt' i corpi sono gravi.** Non v' à fenomeno che con maggiore generalità e costanza si osservi di quel moto de' corpi verso la terra, che noi con espressione indeterminata chiamiamo la loro *caduta*. È questo un fatto che si presenta sotto mille apparenze diverse, ma è dovuto sempre alla stessa cagione, alla *gravità*. Il venir giù d'un corpo s'è libero al moto, il premere contro gli ostacoli, lo scoscendere de' monti, il cadere della pioggia, lo scorrere de' fiumi, il livellarsi de' mari, non sono che svariate manifestazioni della gravità. Tutt'i corpi sono soggetti all' azione di questa forza, anche il fumo ed i vapori che ascendono nell'aria, anche i corpi che galleggiano in essa. Sul piatto della macchina

destinata a fare il vuoto si collochi un cerino acceso e si copra con una campana: rarefatta di poco l'aria, la fiamma si spegne;ed il fumo sale sulle prime, ma fatta l'aria più rara discende. Adunque la distinzione de'corpi ammessa dagli antichi in pesanti e leggieri non regge; *tutti i corpi sono gravi.*

51. **Direzione della gravità.** Si abbandoni a se un corpo così che la sola gravità agisca sovr'esso, e nessun impedimento il faccia deviare in un verso piuttosto che in un altro : la direzione del moto in questo caso sarà quella della gravità. Per determinarla fa d'uopo si riferisca ad una linea o ad un piano di posizione data e immobile. Nulla di somigliante v'è nella parte solida della terra tra le opere della natura o tra quelle dell' arte. I monti , le valli , gli edifizî ànno forme e posizioni svariatissime , e tutto è in continuo moto. Non è così de' liquidi. Facciam cadere liberamente un corpo da una certa altezza , la direzione del moto e quindi della gravità riuscirà sempre *perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti.* Si dà questo nome alle acque tranquille; e tali si considerano quelle de' laghi o de' mari, prescindendo da qualunque speciale movimento, come ondulazioni superficiali, correnti, flusso e riflusso. La linea della caduta dei gravi chiamasi *verticale*, e piano *orizzontale* quello ch'è perpendicolare alla verticale.

Se la terra avesse forma perfettamente sferica , la superficie dell'acqua stagnante in piccolo sarebbe quella d'un piano tangente la superficie della sfera , e in grande sarebbe la superficie stessa della sfera ; laonde la verticale prolungata passerebbe pel centro della terra. Ma le ineguaglianze nella superficie della terra , e la sua forma schiacciata ai poli e rigonfiata all'equatore non rendono vera quella ipotesi. Si avverta però che comunque sembrino immense le altezze de' monti, siccome le maggiori pervengono appena a 8000 metri , non sono per nulla considerevoli relativamente al raggio medio terrestre , cioè a quello che corrisponde alla latitudine di 45°, il quale è di metri 6,366,740 ; dippiù è anche poca cosa la differenza dei due diametri equatoriale e polare (*). Dunque la terra può aversi come sferica, e le direzioni secondo le quali cadono i corpi prolungate concorrono al suo centro. L'angolo che formano nel centro due di queste direzioni è vario secondo la di-

(*) Il diametro terrestre equatoriale è 12,753,968 metri, il polare 12,712,648; cosicchè la depressione polare non sarebbe maggiore di 1/300 del diametro equatoriale, o altrimenti l'eccesso del secondo sul primo è di 42 chilometri.

stanza de' luoghi: le verticali di Parigi e Barcellona s' incontrano sotto un angolo di 7°, 28'; quelle di Parigi e Dunkerque di 2°, 12'.

Ma per grandissima che voglia snpporsi la mole di un corpo, la distanza tra le singole molecole sarà sempre una quantità infinitesima in comparazione al raggio terrestre; e perciò se si considerano tutt'esse animate dalla gravità, le direzioni di queste forze elementari dovrebbero prolungarsi sino al centro per incontrarsi: conterrebbero un angolo infinitamente piccolo, e possono supporsi parallele: dimostreremo or ora che sono anche uguali.

52. *Filo a piombo.* Così chiamasi un filo (fig. 25) sospeso per una sua estremità ad un punto fisso, e avente all' altra un corpicciuolo pesante, come una pallina di piombo con in giù una punta. La direzione del filo sarà la verticale. Infatti si sospenda il filo a piombo sopra un liquido immobile, ad esempio acqua o mercurio; e si segni il punto di contatto della pallina con la superficie liquida. Quindi si porti in alto il filo avvertendo che resti sempre nel prolungamento della prima direzione; allorchè à finito di dondolare si brnci in un sito qualunque, perchè il mobile in cadere non riceva spiuta laterale, e si vedrà pervenire sul liquido in quel medesimo punto segnato da principio.



Fig. 25.

Donde si rende manifesto il perchè e come si usi il filo a piombo per verificare le posizioni de'corpi, p. e. se una torre o una muraglia sieno verticali o inclinate all'orizzonte. Si comprende senza dirlo come possa servire ugualmente per riconoscere se una linea o un piano sono orizzontali. A tal uopo al filo a piombo si aggiunge la *squadra*, la quale consiste in due verghe ad angolo retto: una di queste poggia sul piano, e dall'estremo superiore della seconda pende il filo a piombo. Se mentre la prima in qualunque direzione giace intera nel piano, il filo a piombo combacia sempre con la seconda, quel piano sarà orizzontale.

53. **Influenza dell'altezza sulla direzione della caduta.** Cadendo un corpo da grande altezza, la linea del moto non è più la verticale; ma giunto sulla terra si trova alquanto più innanzi verso oriente. La ragione è manifesta. Il moto diurno della terra e di tutt'i corpi con essa da occidente in oriente è più o meno veloce secondo che è maggiore o minore il raggio di rotazione o la distan-

za dal centro. Adunque un corpo, che nel principio del moto disti considerevolmente dalla superficie terrestre, à una velocità maggiore cui per inerzia non perde interamente nel cadere; e perciò la linea di caduta fa con la orizzontale un angolo ottuso verso oriente, acuto verso occidente. Newton avea indicato questo fatto. Reich lo à verificato nelle miniere di Freyberg, Guglielmini e Benzemberg altrove. Ma è sì poca cosa da potersi trascurare nella ordinaria caduta dei gravi.

54. Relazione tra la gravità e l'attrazione universale. Gli antichi opinavano fosse la gravità una tendenza naturale de'corpi verso la terra; che questi perchè meno perfetti scendessero verso il loro centro in linea retta, ed i corpi celesti invece come più perfetti avessero un movimento più nobile quale riputavano il circolare. Cotali sogni dell'imaginazione per niun modo fondati sull'esperienza e sull'osservazione svanirono. Per noi la gravità non è altra cosa che l'attrazione mutua di tutt'i corpi terrestri; agisce pure con le stesse leggi della gravità celeste.

1.° Che i corpi terrestri scambievolmente si attraggano fu dimostrato ad evidenza da Cavendish con un apparecchio ideato da Michell, diretto in parte da Iohn Wollaston, e da costui legato al Cavendish, il quale meglio avventurato potè valersene. Esso consiste in un'asta orizzontale sospesa nel suo mezzo ad un filo metallico sottilissimo con agli estremi due palline di rame. Sono da un lato e dall'altro due grandi palle di piombo, ciascuna del peso di 157 chilogrammi, e collocate così che i centri di queste e delle palline di rame sieno nel medesimo piano orizzontale. Tutta la macchina è chiusa in camera di legno per essere difesa dall'agitazione dell'aria: da un canto è illuminata con una lampada: l'operatore di fuori regola le posizioni delle masse, e con un cannocchiale ne osserva i movimenti. Le palline di rame messe in presenza delle palle di piombo oscillano in virtù dell'attrazione scambievole; e di leggieri si comprende come vadan 'collocate perchè le azioni divengano cospiranti. Or il Cavendish cambiò dimensioni e natura delle piccole palle, le dispose a differenti distanze, e giunse dopo lunghi studî a scoprire che « *i corpi terrestri si attraggono nella ragione diretta delle masse, e nella inversa de'quadrati delle distanze* ».

Questa mutua attrazione de'corpi è ciò che chiamasi *gravità*. L'azione è vicendevole tra il corpo che cade e la terra; ma il mo-

to di questa è infinitamente piccolo per essere la sua massa infinitamente grande in paragone di quello.

Dippiù in meccanica si dimostra che tutte le molecole di una sfera simmetricamente distribuite intorno al centro agiscono così sopra un punto materiale collocato fuori di quella, come se tutte fossero riunite nel centro; e perciò anche colà sarà diretto il punto materiale. Del quale principio non è malagevole rinvenire la spiegazione ne'problemi della risoluzione delle forze.

Tuttavolta noi non vediamo i corpi sulla terra avvicinarsi l'un l'altro, p. e. due corpi sospesi per mezzo di fili, o collocati sopra un piano. Di ciò v'à due cagioni; 1° la preponderante attrazione terrestre; 2° le resistenze le quali distruggono quel moto leggiero che altrimenti i corpi prenderebbero. Non sarà così se la massa attraente è considerevole, e s'indeboliscano quanto più è possibile le resistenze. Ne abbiam la prova nella deviazione del filo a piombo operata dalle grandi montagne. Bouguer e la Condamine accademici francesi nel 1737 osservarono che il Chimboraço produceva nel piombino una deviazione di 7″, 5, e nel 1774 l'astronomo inglese Maskelyne vide che il monte Shehallien in Iscozia il deviava di 5″, 8. Questo fatto era stato preveduto teoricamente dal Newton, il quale lasciò scritto che un monte di forma conica avente la medesima densità della terra, alto 3 miglia e con base di 6 miglia di diametro, avrebbe fatto deviare dalla verticale il filo a piombo per un angolo di 2′.

2.° In secondo luogo anche i pianeti primari e secondarî tra loro e col sole si attraggono con la medesima legge. Ne abbiamo argomento dall'attrazione esercitata dalla terra sulla luna. Si comprende di leggieri come possa calcolarsene la intensità. L'elemento di spazio che la luna in 1″ descrive nella traiettoria si decomponga nelle due componenti, l'una secondo la tangente, l'altra secondo la direzione della forza continua al centro della terra: questa seconda rappresenta lo spazio, cui la luna percorrerebbe nel primo istante della sua caduta sulla terra, se agisse sopra di essa la sola attrazione terrestre; e quindi ne misura la intensità.

La distanza tra luna e terra è di 60 raggi terrestri: or la gravità che anima la luna a cader sulla terra risulta col metodo indicato 1/3600 della gravità terrestre, ossia è nella ragione inversa de'quadrati della distanza. Dunque la gravità terrestre per la unità della legge è solo un caso particolare della gravitazione universale.

55. **La gravità opera egualmente su tutt' i corpi.** Testimoni ogni dì del cadere che fanno i gravi sul suolo, noi vediamo esser diversa la velocità, con la quale discendono anche quando l'altezza è la stessa. La grandine vien giù ruinosa, men veloce la pioggia, lentissimi i tenui fiocchi di neve. Si direbbe, stando a questo fatto, essere la gravità una forza che più o meno intensamente sollecita al moto i differenti corpi. E pure non è così: la gravità opera egualmente su tutti, sia qualunque la loro natura, la massa, il volume; e la diversa velocità è dovuta unicamente alla resistenza dell'aria. Galilei intravide questa verità col solo ragionamento, e si sforzò dimostrarla con la seguente sperienza. Fatte cadere dall'alto della torre di Pisa palle uguali di varia natura vide, che a un dipresso giungevano al suolo nel medesimo tempo; ed egli proclamò la identità della gravità in tutt'i corpi. L'esperimento di Galilei fu ripetuto da Desagouliers in S. Paolo di Londra. Bisogna però convenire che troppo rimaneva a desiderare perchè la deduzione fosse rigorosa : non ancora si avea il mezzo per eseguire una esperienza diretta, la macchina pneumatica. Sul piatto di questa si unisca a vite un lungo tubo di cristallo chiuso con chiavi alle due estremità, e si estragga l' aria. Alla chiave superiore è unito tal meccanismo, mercè il quale vengono lasciati e cadono corpi di varia densità, come a dire de'pezzetti di piombo, di legno, una piuma, e simili. Il fenomeno maraviglioso che si osserva consiste nel precipitare il legno e la piuma come il piombo in un istante. Chiusa la chiave inferiore e svitato il tubo dalla macchina si può capovolgerlo replicate volte e rinnovare a piacere l'esperimento. Che se girata un tantino la chiave si permette l'entrata a una piccola quantità d'aria, la caduta del legno e più della piuma si rallenterà relativamente al piombo; la quale differenza andrà sempre crescendo con introdurre nel tubo una copia di aria maggiore. Dunque alla presenza dell'aria è da attribuire la ineguaglianza di velocità nella caduta de'gravi : se quella non fosse, tutti di ogni dimensione e natura scenderebbero a un tempo.

Martello d'acqua. Abbiasi un tubo di cristallo con due rigonfiamenti alle estremità, ed uno di essi finisca in un tubo sottile. In-

trodottavi dell'acqua, mentre questa bolle su lampada a spirito, si chiuda al cannello la estremità acuminata : per tal modo si à il così detto *martello d'acqua*. Si tenga in posizione verticale, e poi in un subito si sollevi alquanto, o pure si capovolga : l'acqua cade con un colpo secco come se un metallo urtasse il vetro. La spiegazione è manifesta. Il vapore d'acqua durante la ebollizione à scacciata l'aria del tubo; e perciò l' acqua rapidamente scende senza incontrare quasi resistenza tutta unita , e cagiona quella maniera di urto e di rumore; nell'aria per converso l'acqua si rallenta, si sparpaglia, e tanto più quanto maggiore è l'altezza da cui cade : donde le goccioline di pioggia tanto più minute quanto più elevata è la nuvola da cui piove.

Esperienza di Prevost. Prevost imaginò pure la seguente sperienza. Soprapposto a un disco di metallo un altro di carta, e lasciato il sistema a se orizzontalmente, cadono insieme carta e metallo, perchè tutta la resistenza dell'aria è vinta dal disco di metallo e la carta non ne incontra. Ma potrebbe opporsi che il moto della carta venga accelerato per la pressione, che riceve di sopra dall'aria in moto compressa e cacciata dal metallo.

Dividiamo ora il corpo nelle sue più piccole parti. Ciascuna qualunque siane la natura, avrà la sua gravità, e questa è la medesima in tutte. Nel vuoto i corpi cadono con la stessa velocità, poichè ogni molecola à la sua forza di gravità, nè v'è alterazione di effetto, sieno esse separate o insieme congiunte; cade ciascuna come se fosse sola : un esercito non camina più veloce d'un sol uomo. È vero che essendo l'attrazione della terra nella ragione diretta delle masse (54), un corpo p. e. di massa doppia risente attrazione doppia; ma questa si esercita su quantità doppia di materia, e perciò la velocità è la medesima. La velocità è la relazione tra forza e massa (19): variando queste nella stessa ragione la velocità rimane costante.

Ma nell'aria non è così. Se il volume o la forma dei corpi è diversa, incontreranno diverso volume di aria, e quindi diversa resistenza. Una palla di oro scenderà assai veloce ; ma in lamina sottilissima andrà svolazzando nell'aria agitata dal soffio più lieve. Se poi ànno un volume e diversa massa, incontrano, è vero, ugual resistenza , ma il più denso la vince più agevolmente e scende più presto; o altrimenti essendo maggiore il numero delle unità di massa e di forza che nel meno denso, vincendo la stes-

sa resistenza, rimarrà nel primo un residuo maggiore di forza, donde l'eccesso di velocità.

56. Peso proporzionale della massa. Le forze di gravità che animano le unità di massa sono dunque uguali tra loro; ma dimostrammo (51) essere anche parallele; laonde un corpo è un sistema di forze uguali parallele, e dirette nel medesimo senso. La risultante di tutte queste forze è ciò che chiamasi *peso* di un corpo, e *gravità* dinota la forza elementare, che anima la unità di massa. Di quì nasce che la gravità de'vari corpi è la stessa, ma non il peso quando essi non ànno masse uguali. Il peso è un tale multiplo della gravità, quante sono le unità di massa del corpo, ossia è proporzionale alla massa; cosicchè rappresentando g la gravità, P ed M il peso e la massa di un corpo, avremo

$$P=gM.$$

Perciò a determinare la massa d'un corpo, siamo soliti misurarne il peso, che poco interesserebbe per se medesimo se non fosse ordinato alla conoscenza della massa.

Pesare significa rinvenire quante volte il peso di un corpo contiene un peso dato scelto come unità di misura. Questa operazione si esegue per mezzo della *bilancia*. La unità di peso deve essere costante e per quanto è possibile generale. L'accademia delle scienze di Francia come avea scelto il metro per unità lineare (3), così destinò il *grammo* per unità di peso, che è il peso di un centimetro cubico di acqua distillata alla temperatura di 4°. Decagrammo ectogrammo chilogrammo ne sono i multipli, e valgono dieci, cento, mille grammi; decigrammo, centigrammo, milligrammo ne sono i submultipli (*).

57. Peso assoluto, peso specifico. Il peso del quale abbiamo ragionato vien detto *assoluto*, poichè sebbene paragonisi alla unità di misura, purtuttavolta non si à alcun riguardo al volume. *Peso specifico* è la relazione tra il peso assoluto e il volume. Ossia si prendano volumi eguali de'vari corpi, si pesino, e se ne scelga uno per unità di misura; allora i numeri esprimenti quante volte i pesi di quei corpi contengono questo ch'è stato scelto per unità, indicheranno i loro pesi specifici. Il corpo a cui i solidi e i liquidi si riferiscono è l'acqua distillata alla temperatura di 4.°; gli aeriformi immediatamente si paragonano all'aria atmo-

(*) Il rotolo napolitano equivale a chilogrammi 0,89099.

sferica, e quindi anche all' acqua, sapendosi che il peso specifico dell'aria atmosferica è 1|770. Adunque perchè un centimetro cubico di solfo pesa grammi 2, e un centimetro cubico di platino grammi 22, diremo che i pesi specifici del solfo e del platino sono 2, e 22.

Peso specifico o densità non sono certamente la stessa cosa, ma sono proporzionali l'uno all'altra; si rappresentano con lo stesso numero, sebbene riferiscansi a due unità differenti, la prima di peso, la seconda di massa; e perciò si usano l'uno per l'altra.

Un corpo *omogeneo* à la stessa densità in ciascuna sua parte, e però il peso è nella ragione del volume. Non è così di un corpo *eterogeneo* le cui parti ànno diversa densità, o peso specifico.

In idrostatica insegneremo metodi semplici e rigorosi per la determinazione de'pesi specifici.

CENTRO DI GRAVITÀ, EQUILIBRIO.

58. **Centro di gravità.** Ogni sistema di forze parallele e dirette nel medesimo senso à un centro; e questo può facilmente rinvenirsi (27). Dunque ogni corpo avrà il suo *centro di gravità*, ossia il punto al quale si può intendere applicata la risultante delle gravità di tutte le sue molecole o altrimenti il suo peso.

59. **Determinazione del centro di gravità.** Questo problema è geometrico quante volte il corpo à forma che possa definirsi matematicamente, ed è omogeneo.

Corpi simmetrici. Le figure simmetriche intorno a un punto, a una linea, a un piano, ànno il centro di gravità in quel punto, in quella linea, in quel piano, o altrimenti nel centro di figura. Poichè quivi sarà il centro delle forze equidistanti componendole due a due, e però il centro di gravità del sistema.

Ne'trattati di meccanica si trovano partitamente risoluti cotali problemi per le varie figure; noi sarem contenti di enunciarli, e non più. Avvertiamo per altro che le linee e le superficie s'intendono caricate di pesi uguali ad uguali distanze, senza che sarebbe assurda la determinazione d'un centro di gravità dove mancasse la gravità.

Il centro di una linea retta è nel punto medio. Il cerchio, la sfera, la ellissi, la ellissoide ànno il centro di gravità nel centro di figura. Il parallelogrammo nel punto d'intersezione delle due

diagonali. Il cilindro nel mezzo dell'asse, un parallelepipedo nel punto d'intersezione de'tre piani di simmetria, o delle diagonali.

Il centro di gravità di un triangolo è alle due terze parti della retta, che unisce un vertice col punto medio del lato opposto, computato dal vertice: quello di un cono o di una piramide è ai tre quarti della retta che congiunge il vertice col centro di gravità delle basi, computati pure dal vertice.

60. *Determinazione meccanica del centro di gravità.* Ove il corpo non abbia forma geometrica, o pure non sia omogeneo, si usa il seguente metodo meccanico. Si sospenda a un filo per un punto qualunque della sua superficie: esso oscillerà e poi ridurrassi ad equilibrio. Ciò non può accadere se non quando la verticale che passa pel centro di gravità, detta pure *linea di direzione*, prolungata incontri il punto di sospensione; giacchè questo punto fisso deve distruggere il peso del corpo, e la direzione del filo a piombo coincide con la verticale: dunque il centro di gravità del corpo dovrà trovarsi nel prolungamento del filo. Segnata questa direzione, si scelga fuori di essa un altro punto del corpo, si sospenda novellamente, e si aspetti che si riduca altresì all'equilibrio. Per la medesima ragione or ora accennata il centro di gravità sarà pure nel prolungamento di questa seconda direzione del filo. E poichè il centro di gravità non cambia per quella duplice sospensione (27), esso dovrà trovarsi simultaneamente in ambe quelle linee, ossia nel punto di loro intersezione.

Se poi si avessero due masse eterogenee così tra loro unite da formare un sistema invariabile, si determinerebbero i centri di gravità delle due masse, e poi si troverebbe il centro dell'intero sistema dividendo la distanza tra quei punti in due parti inversamente proporzionali ai pesi delle masse stesse (25).

61. **Moto del centro di gravità.** Dalla nozione del centro di gravità si deduce che comunque un corpo si muova in virtù del suo peso, o che sia libero al moto, o in parte impedito, sempre il centro di gravità tende a discendere; anche quando apparentemente con sorpresa crediamo vedere il contrario. Per esempio se abbiansi due verghe unite ad angolo e disposte a piano leggermente inclinato col vertice più basso, e sovra esse dal lato del vertice si collochi pel suo mezzo un sistema di coni congiunti tra loro con le basi, si vedrà scorrere questo doppio cono toccando successivamente i punti delle due verghe che sono più elevati. Ma questi punti

sono anche più discosti,e perciò s'intende che in realtà il centro di gravità nell' atto di rotolare il doppio cono discende.

62. **Equilibrio indifferente, stabile, instabile.** Perchè un grave sia in equilibrio è necessario che il suo centro di gravità non possa abbassarsi. Di quì emergono tre maniere di equilibrio, che diconsi *indifferente*, *stabile*, ed *instabile*.

L'*indifferente* si à quando il corpo è immobile,qualunque sia la posizione relativa delle sue parti; è *stabile* allorchè se per una forza il corpo se ne allontana, per se vi ritorna; da ultimo è *instabile*, se per poco spostato da quella posizione tende ad allontanarsene sempreppiù fino a passare all' equilibrio stabile o all' indifferente.

Per ben intendere queste tre specie di equilibrio esaminiamo due casi; un corpo sospeso, e un corpo poggiato sopra un piano.

1.° Sia il corpo sospeso per un punto; avrassi equilibrio indifferente quando il centro stesso di gravità è immobile, cioè coincide col punto di sospensione. L' equilibrio sarà stabile quando centro di gravità e punto di sospensione sono nella stessa verticale, ma il centro di gravità è più basso; giacchè spostato comunque il corpo, il centro di gravità sale, e tendendo sempre ad abbassarsi ricondurrà il corpo alla posizione primitiva. Se poi centro di gravità e punto di sospensione sono pure nella stessa verticale, ma questo è più basso, si avrà l'equilibrio instabile.

Abbiasi un disco omogeneo (fig. 26) con tre fori, uno nel centro C e gli altri A, B ai due lati. Se una verga s'infilzi nel foro C, resterà immobile comunque si faccia girare intorno ad essa; avremo dunque equilibrio indifferente. Se poi s'introduca la verga nel foro A o nel foro B, si otterranno evidentemente le posizioni di equilibrio stabile o instabile.

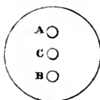


Fig. 26.

2.° Che se il corpo poggia sopra un piano, sarà in equilibrio indifferente quando per la sua forma accade, che comunque si collochi, la verticale abbassata dal centro di gravità, ossia la *linea di direzione*, cada sempre ne'punti di contatto di esso col piano. Ce ne danno esempio una sfera omogenea, qualunque de' suoi punti tocca il piano, e un cilindro omogeneo adagiato su qual che sia de'suoi lati. Se poi allontanato dalla posizione di equilibrio vi ritorna, o pure vieppiù scostandosene si rovescia, quell' equilibrio è stabile o instabile. Una sfera e un cilindro, de' quali le due metà

sono di diversa densità, possono godere di equilibrio stabile o instabile, secondo che per la metà più o meno densa tocca il piano sottoposto.

Anche un cono (fig. 27) sopra un piano può trovarsi nelle tre posizioni d'equilibrio instabile A, stabile B, indifferente C, secondo o lo tocca pel suo vertice, pel quale anche passi la linea di direzione, o pure riposa sulla sua base o comunque sopra un lato.

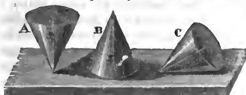


Fig. 27.

È instabile l'equilibrio d'un bastone che si tiene dritto sopra un dito, come pure di quei fantocci, con cui si trastullano i bimbi, i quali capovolti si raddrizzano perchè il centro di gravità si trova nel segmento sferico di piombo ch'è alla loro base.

Al contrario una figurina di legno o di avorio (fig. 28) poggiata

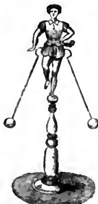

Fig. 28.



Fig. 29.

con un piede sopra una colonnetta vi rimane in equilibrio stabile, se ai due lati per mezzo di fili metallici le sono congiunte due masse pesanti e tanto basse, che il centro di gravità dell'intero sistema resti più giù del punto di appoggio.

63. *Applicazioni*. Quante volte un corpo riposa sopra una base, se la linea di direzione cade nel perimetro di essa il corpo non cade comunque fortemente inclinato all'orizzonte. Il rende evidente la colonna della figura 29; girando la vite congiunta alla base, es-

sa inclinasi più o meno all' orizzonte ; ma non cade finchè la verticale abbassata dal centro di gravità C non esca fuori della base. Per questa ragione le torri del Duomo in Pisa, e di Garisendi in Bologna da secoli non ruinano, comecchè di molto inclinate.

L'equilibrio sarà tanto più stabile quanto è men facile che la linea di direzione esca della base ; il che à luogo quanto più ampia è la base, e più basso si rattrova il centro di gravità. L'una e l'altra regola si osserva di fatto per avere maggiore stabilità nelle costruzioni speciali. I piè dritti delle torri e de' ponti sono leggermente inclinati in dentro, con che le basi riescono più larghe; inferiormente si usano materiali più pesanti e mura più ampie affinchè in proporzione il centro di gravità resti più basso. La maestosa torre quadrangolare del tempio di S. Chiara in Napoli, capolavoro architettonico del II Masuccio eseguito nella prima metà del secolo XIV , à il basamento non pure rivestito di travertino , ma composto nella sua parte inferiore da un solo masso di fabbrica.

L'uomo à il suo centro di gravità alquanto sotto l'ombilico, e la linea di direzione per l'equilibrio deve cader tra le piante. Laonde siamo ammaestrati dalla natura ne' diversi movimenti a cambiare la posizione relativa delle parti del corpo, ed a conformarci in certi scorci a seconda delle circostanze variati , affinchè sempre si avveri quella condizione. Avviene il medesimo ne'varî animali. Chi à un peso da un lato si curva in senso contrario: il volatile che si poggia sopra un piede si piega e nasconde il capo sotto l' ala dell' istesso lato : in chi cammina il moto delle braccia è inverso di quello delle gambe: nell' atto di rizzarci in piedi dallo star seduti, perchè la forza muscolare mal sarebbe adatta a sollevarci d' un colpo vincendo tutta la forza di gravità, c'incliniamo d'innanzi.

É manifesto però che tutte le cose esposte intorno all'equilibrio in dipendenza dal centro di gravità sono vere supponendo il corpo assolutamente rigido e invariabile. Non è più così se è flessibile, o altrimenti possa cambiare la posizione relativa delle molecole. Poichè pel loro peso, verranno spostate di fatto, se non sono invariabilmente unite ; comecchè resti al suo luogo il centro di gravità dell'intero sistema. Infatti un filo sottile sospeso pel suo mezzo si piega ai due lati: i rami di un albero, ad esempio del salice *piangente* (*salix babylonica*), si curvano al suolo, sebbene il centro di gravità che è situato nel tronco sia immobile: un edifizio per mancanza di presa tra gli elementi che compongono il cemento e le

pietre, o per vetustà ruina, avvegnacchè il centro di gravità abbia le condizioni dell'equilibrio stabile.

Dippiù siccome le molecole sono collocate con simmetria intorno al centro di gravità, se una forza è applicata a questo punto, la sua azione verrà distribuita ugualmente per la intera massa; tutte le molecole si muoveranno con la stessa velocità, ed il corpo avrà quella maniera di moto che vien detta *trasporto parallelo*. Ben altrimenti andrebbe la cosa, se in qualunque altro punto fosse applicata la forza. Le molecole situate alla estremità, cui più si avvicina il punto di applicazione della forza, acquisteranno maggiore velocità, e tenderanno a girare intorno all'altro estremo: così oltre il moto di *traslazione* vi sarà quello pure di *rotazione*.

LEGGI DEL MOTO DE'GRAVI.

64. Macchina d'Atwood. La natura di una forza e la sua intensità si deducono dalle leggi del moto che essa produce. Ma queste leggi in quanto alla gravità non possono determinarsi esaminando direttamente la caduta di un corpo. Imperocchè dall'essere troppo rapido questo moto ne conseguita non potersi misurare gli spazî percorsi in date frazioni di tempo; e non essendo nota la relazione tra spazio e tempo non può valutarsi la forza. Inoltre crescendo la resistenza del mezzo come il quadrato della velocità, allorchè la velocità è considerevole il moto è assai alterato da quello che sarebbe senza quella resistenza. Bisogna dunque per allontanare questo doppio inconveniente diminuire la velocità del grave, ma con tale un artifizio che gli spazii conservino le medesime relazioni a'tempi successivi, comecchè ne divengano minori i valori assoluti.

A ciò vale la *macchina d'Atwood* (fig. 30) così detta dal nome del suo inventore professore di chimica in Cambridge.

Essa consiste in una colonna alta metri 2, 5, sulla quale è disposta in piano verticale una carrucola sommamente girevole intorno al suo asse; per la sua gola corre un filo, che termina in due masse uguali M, M', e sottile a segno che possa trascurarsene il peso relativamente a quello delle due masse. Per accrescere la mobilità della carrucola come diremo (69) si diminuisce l' attrito che soffre l' asse poggiandolo colle sue estremità non sopra cuscinetti fissi, ma sulle intersezioni di quattro ruote, due per ciascun

lato. Inoltre tutto il sistema di ruote è preservato mercè una cassa di lastre dall'agitazione dell'aria. Alla parte anteriore della colonna v'è un ordigno d'orologeria O regolato da un pendolo Pa scappamento ad ancora, che batte il secondo sessagesimale.

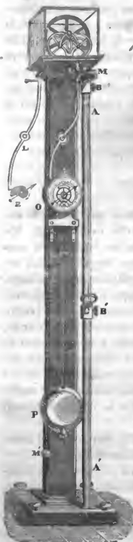


Fig. 30.

La massa M nel suo moto scorre lungo un' asta verticale AA′ divisa in centimetri per misurare gli spazii percorsi in dati tempi. Essa poggia nel principio di ogni esperienza sopra una piastrina orizzontale e mobile a cerniera, la quale è sostenuta da una leva L: l'altra estremità di questa viene spostata gradatamente dall'eccentrico E mobile insieme coll'indice dell'orologio, come osservasi nella figura laterale, finchè nell'istante che si vuole non più sorretta la piastrina abbia principio il moto: ciò sempre accade quando il pendolo comincia una oscillazione.

Per determinare le due masse al moto si aggiunge ad M un picciol peso m. Si comprende che dalla relazione di m ad M debba dipendere la velocità del sistema. Ed in vero supponendo che g rappresenti la intensità della gravità, o altrimenti la velocità con cui cade la unità di massa, la quantità di moto del peso addizionale m sarà gm. Si sovrapponga ora la massa m ad M. In questo caso le masse in moto sono da un lato $M+m$, dall'altro M′, cioè tutt'insieme $2M+m$ per essere M uguale ad M′. Laonde chiamando x la velocità ignota dell'intero sistema, la quantità di moto sarà espressa da $x\,(2M+m)$. Or si rifletta che il medesimo peso di m determina al moto nella prima ipotesi la sola massa m, e nella seconda le masse $2M+m$: dippiù se la forza motrice è costante, le quantità di moto sono uguali (17); e perciò avremo l'equazione

$$x(2M+m) = gm,$$

dalla quale s'inferisce che la velocità x è tanto minore di g quanto la massa m è minore della somma $2M+m$. Vogliasi p. e. che la velocità del sistema riducasi ad $\frac{1}{64}$ della velocità g; dovrà essere $\frac{m}{2M+m} = \frac{1}{64}$, donde $64m = 2M+m$, e perciò $m = \frac{M}{31\ 1/2}$. Ciò vuol dire che se p. e. m è un grammo, ciascuna delle masse M, M′ dovrà pesare grammi 31 1/2.

Da ultimo lungo l'asta graduata scorrono due sostegni e fermansi con viti di pressione dove occorre; l'uno B serve a trattenere la massa M per impedirne il moto, l'altro B′ è fatto ad anello in modo da permettere il passaggio alla massa M ed arrestare il peso addizionale m, cui perciò si dà una forma allungata.

65. Leggi della discesa verticale dei gravi. Passiamo ora a scoprire le leggi della caduta de' gravi.

1.° In prima si sovrapponga m alla massa M, si porti all'alto dell'asta graduata, si carichi la leva, e si aspetti l'istante in cui il pezzo eccentrico l'abbandona, e comincia il moto. Allora si avvertirà che se dopo una sola oscillazione del pendolo la massa M si trova p. e. alla terza divisione dell'asta, dopo 2 sarà alla divisione 12 percorrendo una lunghezza 4 volte maggiore, e dopo 3 alla divisione 27 descritto uno spazio 9 volte maggiore.

Di qui la prima legge, che « *nella discesa verticale gli spazi sono proporzionali ai quadrati de'tempi in cui furono descritti.*

Se i tempi costituiscono la serie de' numeri naturali, gli spazi formeranno quella de'numeri quadrati: avremo cioè

tempi	1,	2,	3,	4,	5
spazi totali	1,	4,	9,	16,	25
spazi parziali	1,	3,	5,	7,	9.

La terza serie esprime gli spazii percorsi in ciascuna unità successiva di tempo, e si ottiene per via di sottrazione. Poichè se 4 è lo spazio descritto in 2″, e 1 quello descritto in 1″, sarà 3 lo spazio descritto nel secondo minuto: se da 9 spazio percorso in 3″ tolgasi 4, dovuto ai due primi, rimane 5.

2.° Dopo aver segnato il punto nell'asta, a cui giunge la massa M dopo la prima oscillazione, ivi si collochi il corsoio annulare B′. Eseguendo allora l'esperienza come sopra, l'anello permette il passaggio ad M, ma trattiene il peso addizionale m; e si osserva

che dopo la seconda oscillazione la massa M avrà percorso uno spazio doppio di quello descritto nella prima. Il medesimo accadrà se l'anello vien collocato là dove giunge il mobile dopo due oscillazioni del pendolo. D'altronde è chiaro che dal momento nel quale la massa addizionale è trattenuta, il sistema si muove con la velocità che fino a quel punto avea acquistata, e perciò il moto è uniforme: il che sperimentalmente si osserva, poichè in frazioni uguali di tempo descrive spazii uguali.

Laonde « *se in un istante qualunque della discesa cessa la forza acceleratrice, il grave con moto uniforme in egual tempo percorrerà uno spazio doppio* ».

3.° Nel ripetere queste esperienze per tempi differenti si riconosce, che gli spazii percorsi da M dopo essere stato trattenuto il peso aggiunto *m* sono nella medesima ragione de' tempi trascorsi prima di giungere al corsoio annulare. Infatti se la massa *m* è trattenuta dopo 1", la massa M si trova alla divisione 3, e dopo un altro minuto arriverebbe a 9 descrivendo uno spazio uguale a 6: se invece *m* è trattenuta dopo 2", M si trova a 12 e dopo altri due minuti giungerebbe a 36 descrivendo 24 divisioni in 2", ossia 12 per ogni secondo. Gli spazii dunque 6 e 12 sono come i tempi 1 e 2: ma questi spazii evidentemente misurano la velocità;

Quindi « *nella discesa verticale le velocità sono proporzionali ai tempi, alla fine de' quali furono acquistate* ».

4.° Potrebbe anche dedursi la intensità della gravità, ossia lo spazio percorso da un corpo che liberamente discende per la verticale nel primo istante del suo moto. Converrebbe moltiplicare a tal uopo lo spazio che descrive effettivamente la massa M pel fattore rappresentante la relazione tra la velocità ridotta e la vera: nella ipotesi sarebbe 64. Più comunemente intendesi per valore della gravità lo spazio, che in ogni minuto secondo con moto uniforme un grave descriverebbe se dopo il primo istante della sua caduta fosse abbandonato dalla gravità: questo valore è doppio dell'altro. Quanto prima risolveremo questo problema con la più grande precisione.

66. **Formole della caduta de' gravi**. Tutte le leggi spettanti alla caduta de'gravi e dimostrate con la macchina d'Atwood, evidentemente appartengono al moto uniformemente accelerato (36). Adunque la gravità è una forza continua costante (35), e le formole esprimenti la natura di quel movimento apparterranno

anche al moto di un grave nella discesa verticale; sostituendo dunque g a φ avremo

$$v = gt\ ,\ s = \frac{1}{2}gt^2,\ v^2 = 2gs.$$

Queste per altro possono altresì dedursi dalle leggi or ora dimostrate senza far ricorso alle formole generali. Infatti dalla terza legge, dall'essere cioè le velocità proporzionali ai tempi, si ricava che essendo g la velocità dovuta alla unità di tempo, e v quella acquistata dopo un tempo t, dovrà essere $v = gt$. Inoltre lo spazio percorso con moto uniforme nel tempo t e con la velocità gt viene espresso da (36, 3°) gt^2: e perciò quella dovuta alla forza acceleratrice g nel medesimo tempo per la seconda legge sarà $\frac{1}{2}gt^2$. L'ultima formola si ricava eliminando t dalle due precedenti (35).

67. **Movimento in direzione contraria alla gravità.** Da queste teorie e da queste esperienze si ricava qual moto dovrà succedere se un corpo è spinto in alto secondo la verticale. La gravità come forza continua costante ritardatrice produrrà un moto uniformemente ritardato, e il corpo salirà finchè non sarà distrutta la velocità iniziale. Or poichè le intensità delle azioni successive della gravità sul corpo ne'singoli istanti del moto sono le medesime, sia che il grave si muova nella direzione della gravità, sia che vada in direzione contraria, ne conseguita che tanta velocità in un tempo t la gravità comunica al corpo nel moto accelerato, quanta ne sottrae nel ritardato.

Laonde « *perchè un grave ascenda a data altezza conviene gli si imprima quella stessa velocità iniziale che avrebbe acquistata scendendo all'orizzonte in fine della medesima altezza.* »



Fig. 31.

Tale verità può dimostrarsi anche così con la macchina d'Atwood. Il corsoio annulare (fig. 31) si fissi a vite verso il mezzo dell'asta graduata; ma ad essa si aggiunga un appendice orizzontale composto di una verga lunga quanto la distanza tra le due braccia del filo che tien sospese le masse M, M', e terminante in altro anello, pel quale possa scorrere similmente la massa M' e

sia trattenuto un peso addizionale m' uguale a m. Si porti dunque in su la massa M caricata di m; ma il secondo peso m' si collochi sull'anello corrispondente. Allorchè il pezzo eccentrico spinge la leva, non più sostenuta la massa M scenderà con moto accelerato, ma giunta al corsoio lascia il suo peso m. Nel medesimo istante l'altra massa M' ascendendo passa l'anello, prende il suo peso m', e sale con la velocità che avea M in quel punto e con moto ritardato, finchè quella velocità non venga distrutta. Ora si avverte essere presso a poco uguali gli spazii che àn percorsi la massa M dal principio del moto sino al corsoio, e l'altra M' dall'anello corrispondente sino all'arrestarsi. Qualche piccola differenza è dovuta alla resistenza dell'aria, ed all'attrito.

68. **Moto per un piano inclinato.** Per risolvere il medesimo problema, nel quale noi abbiam fatto uso della macchina di Giorgio Atwood, Galilei adoperò il piano inclinato. Si tenda una corda fra due punti a differente altezza sull'orizzonte, e poggi sovr'essa una carrucola. È chiaro che se la corda fosse verticale, la carrucola scenderebbe con tutta la intensità della forza di gravità come se quella non esistesse. Se per converso fosse orizzontale, la gravità sarebbe interamente distrutta dalla resistenza della corda, e la carrucola rimarrebbe in equilibrio. Ma se la corda è inclinata all'orizzonte la gravità è solo diminuita, e può ridursi a tale la velocità della discesa da potersi scoprire la relazione tra gli spazii percorsi e i tempi. Per molti usi è importante conoscere le leggi di questa maniera di moto.

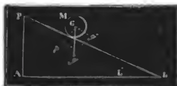


Fig. 32.

Si muova dunque un corpo M (fig. 32) lungo il piano inclinato PL. La verticale Cg abbassata dal centro di gravità rappresenti il peso del corpo, il quale non potrà già ottenere tutto il suo effetto: ma risoluta Cg in due Cg', Cp, l'una parallela l'altra perpendicolare al piano PL, questa sarà distrutta dalla resistenza del piano, ed il corpo scenderà in virtù della sola Cg'. La risultante Cg rappresenta il peso *assoluto*, e la componente Cg' à il nome di peso *relativo*, che sono proporzionali alle gravità assoluta e relativa. Or i triangoli Cgg', PLA per essere equiangoli sono simili, e danno la proporzione

$$Cg : Cg' :: PL : PA, \text{ ossia } g : g' :: L : A,$$

chiamando g,g' le gravità assoluta e relativa, L ed A la lunghezza e l'altezza del piano inclinato. Quindi la gravità relativa sarà

$$g' = g\frac{A}{L};$$

e sostituendola nelle equazioni (66, 67), avremo le formole del moto per un piano inclinato così per la discesa, come per la salita.

Da questa espressione si deducono le seguenti conseguenze.

1.° Siccome per una data posizione del piano inclinato la frazione $\frac{A}{L}$ è costante, anche g' sarà costante: laonde il moto sarà uniformemente accelerato o ritardato, cioè soggetto alle medesime leggi che per la verticale, comecchè la forza abbia una intensità differente. Ma in diverse posizioni del piano inclinato, cambiandosi la inclinazione, varia la ragione $\frac{A}{L}$, e quindi pure la gravità relativa non che la velocità del movimento. Se rimanendo l'altezza diminuisce o cresce la lunghezza del piano, si aumenta in proporzione o decresce la inclinazione, e quindi la velocità: così per PL' la velocità della discesa è maggiore che per PL poichè è maggiore il pendio. È agevole applicare somigliante ragionamento al caso, in cui la lunghezza del piano inclinato è costante ma ne varia l'altezza.

2.° Se un grave discende per l' altezza A o per la lunghezza L, giunto all'orizzonte AL avrà acquistato la medesima velocità. Infatti la gravità relativa tanto più a lungo deve rinnovare i suoi impulsi per comunicare al mobile la stessa velocità che la gravità assoluta, quanto essa è meno intensa dell'altra.

Del quale teorema possiamo anche dare la seguente dimostrazione rigorosa. La velocità acquistata dal mobile alla fine dell'altezza PA è $v = \sqrt{2gA}$; se poi scorre per la lunghezza PL, giunto all'orizzonte avrà la velocità espressa da $\sqrt{2g'L}$, la quale, sostituendo $g\frac{A}{L}$ in luogo di g', prenderà anche la forma $\sqrt{2gA}$.

3.° Ma i tempi impiegati a percorrere l' altezza e la lunghezza non sono uguali; e ben si dimostra ricavando dalla formola

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

il valore di t, e sostituendo in esso successivamente A ed L in cambio di s, e la gravità relativa $g' = g\frac{A}{L}$ in luogo di g.

69. **Attrito: sua cagione e sue leggi.** Un corpo che scorre per un piano inclinato incontra una resistenza dal piano stesso, per la quale la velocità dovuta alla gravità relativa ne rimane affievolita: tale resistenza dicesi *attrito*. Se ne trova la cagione non solo nell'adesione tra le superficie del corpo in moto e del piano, ma anche nelle parti sporgenti che di necessità esistono sovr' essi comunque levigati. Affinchè dunque il corpo si avanzi è necessario o che si sollevi a quando a quando, o che quelle prominenze si distacchino.

Riesce agevole misurare l'attrito. Si abbia a tal fine un piano inclinato mobile a cerniera intorno al vertice dell'angolo d'inclinazione: collocato sovr'esso il mobile, si diminuisca per gradi la inclinazione. Si troverà sempre una tale posizione del piano, che il corpo vi resti in equilibrio, quando cioè la gravità relativa vien distrutta completamente dall'attrito. Adunque il valore della gravità relativa sotto l'angolo massimo d'inclinazione, persistendo equilibrio, sarà la vera misura dell'attrito.

Dobbiamo a Coulomb le condizioni, dalle quali dipende la intensità dell'attrito. Egli à dimostrato, che l'attrito è proporzionale alla superficie del corpo in moto ed alla pressione, cosicchè rimane costante se quei due elementi variano in ragione inversa. Con ciò si spiega perchè un poliedro a facce ineguali se resta in equilibrio sul piano poggiato sopra una sua faccia, lo sarà ugualmente adagiato sopra un'altra qualunque; poichè essendo costante il suo peso, la pressione esercitata su ciascun punto del piano sarà tanto minore quanto la faccia è più estesa. Inoltre è minore l'attrito tra corpi di natura diversa che tra quelli della stessa natura: anche minore nei corpi più duri. Laonde per profittare di queste due condizioni insieme si usa nelle bussole di bilicare su punta di acciaio l'ago a cappelletto di pietra dura; e parimenti su cuscinetti di pietra dura si adagia nelle bilance il coltello di acciaio ben temperato. È anche più debole l'attrito allorchè i corpi si muovono da qualche tempo, che quando il movimento succede al riposo. Da ultimo è minore allorchè si cambiano continuamente i punti di contatto del corpo in moto sul piano, che quando quei punti restano i medesimi; altrimenti, soffre meno attrito un corpo che rotola di un altro che striscia. Ove poi si cambiassero del pari i punti di contatto di ambo i corpi, s'indebolirebbe incomparabilmente più fino a divenir quasi insensibile. Da ciò s'in-

tende quale vantaggio si tragga nella macchina di Atwood dal poggiare l'asse della carrucola di mezzo sopra le intersezioni di quattro ruote laterali, le quali sono determinate esse pure a girare insieme con l'asse.

70. **Discesa per le linee curve.** Allorchè un corpo dopo esser disceso per la lunghezza di un piano PL (fig. 33) passa in un altro LL', che forma più acuto angolo coll'orizzonte, la gravità relativa, la quale era parallela al primo piano, diventerà obbliqua al secondo; e perciò decomponendola in due, l'una perpendicolare a questo, l' altra parallela, si avrà la componente della forza con cui prosegue nel suo moto. Rappresenti ML la velocità da cui il grave è animato all'entrar nel secondo piano LL': la componente Mg perpendicolare ad LL' sarà distrutta, ed il corpo con la seconda Mg' scenderà per LL'. Se col centro L e col raggio LM descrivasi la mezza circonferenza pMq, la retta pg uguale all'eccesso di ML sopra Mg' esprimerà la differenza tra la velocità alla fine di PL e quella per LL': che sarà tanto minore quanto più acuto è l'angolo MLp. Vi è dunque perdita di velocità nel passaggio da un piano in un altro; e alla fine della corsa in L' il corpo non potrà avere acquistato la velocità dovuta alla intera altezza PA, ma invece si dimostra che ritiene solamente quella dovuta all'altezza A'A.


Fig. 33.

Da questi principi è agevole inferire le variazioni di velocità che subisce un grave scendendo per una curva. Infatti se l'angolo dei due piani PLL' differisce per una quantità infinitesima da 180°, l'angolo MLp e la normale Mg saranno quantità infinitamente piccole. Ma per essere Mg normale al diametro pq avremo

$$gq:Mg::Mg:pg;$$

quindi siccome gq è una quantità finita ed Mg una quantità infinitesima, sarà pg anch'essa infinitesima ma di 2.° ordine.

Or considerando la curva come un poligono d'infiniti lati, i suoi elementi contigui due a due formeranno un angolo minore di 180° per una quantità infinitesima. Laonde la perdita di velocità sofferta da un grave, che è disceso per un arco di curva, sarà un in-

finitesimo di 2.° ordine ripetuto un numero infinito di volte, quanti sono gli elementi di quell'arco. Tale somma è un infinitesimo di 1.° ordine, e perciò una quantità da trascurare al paragone di una quantità finita; alla fine dunque della sua corsa il corpo avrà acquistato scendendo per la curva quella velocità che per la verticale dalla stessa altezza.

Se la curva à un ramo discendente, ed uno ascendente, pel primo il grave scenderà con moto accelerato: al punto infimo avrà acquistato la velocità dovuta all'altezza del punto di partenza, e però con essa salirà pel secondo ramo con moto ritardato sino a raggiungere la medesima altezza, dove rimane estinta ogni velocità. Da quel momento la gravità comincia ad agire come forza acceleratrice, ed il farà discendere in senso contrario, e poi salire per l'altro ramo sino al punto donde prese le mosse la prima volta; e con queste alternative si muoverà indefinitamente.

Potrebbe anche la curva presentare delle sinuosità: il grave le supererebbe quante volte non uguagliassero l'altezza del punto di partenza. Sia lasciato p. e. il corpo M (fig. 34) sulla curva MBCDM'.



Fig. 34.

Nel punto B si troverà avere acquistato velocità corrispondente all'altezza *Mr*: ascenderà per BC, ed in C resterà la sola velocità dovuta ad *Mp*: oltrepassato quel punto scenderà per CD: in D avrà la velocità dell'altezza MA, e quindi salirà ad M', donde partendo descriverà in direzione contraria la curva sino ad M, e così di seguito. Ne'punti P, Q, R, S ad uguale altezza sull'orizzonte avrà la velocità dovuta ad *Mq*.

Dall'essere uguali le velocità che un grave acquista per un piano inclinato e per la verticale non ne conseguiva che per queste due vie giungesse all'orizzonte nel medesimo tempo (68, 3.°); la rapidità del moto per la verticale è massima, e per un piano inclinato è tanto maggiore quanto è minore la sua lunghezza. Così pure la discesa per una curva è più rapida che per un piano, comunque coincidano i punti di partenza e di arrivo all'orizzonte ;

ed il tempo del moto per le varie curve che si possono condurre tra quei due punti è diverso secondo che più o meno si avvicinano nell'andamento alla verticale. In meccanica si sa che la curva della più breve discesa è la cicloide, la quale per tal suo carattere vien detta *brachistocrona*. Essa gode di altra proprietà singolare, che comunque più o meno lunghi sieno gli archi di discesa rimane costante il tempo; poichè variano nella stessa ragione spazio e velocità; e però le si è dato anche il nome di *tautocrona*.

71. Moto de'proiettili. Se un corpo è spinto secondo la verticale nella direzione della gravità o in direzione contraria, il moto è sempre rettilineo ed uniformemente accelerato o ritardato: la velocità corrisponde alla somma o alla differenza di quelle che son dovute alle forze di proiezione e di gravità. Ma se la direzione della spinta è parallela o obbliqua all'orizzonte, percorre una curva animato com'è da due forze eterogenee ad angolo, l'una istantanea la proiezione, l'altra continua costante la gravità.

Il veneziano Tartaglia dimostrò, che nessuua parte della linea percorsa da un proiettile è retta; ma che fosse una parabola dovea dedursi dalle leggi della caduta de'gravi, ed era serbata al genio del Galilei l'una e l'altra scoverta.

Ecco come va condotto il ragionamento secondo i principi di quel sommo. Sia spinta la massa M (fig. 35) orizzontalmente per MO, mentre la gravità l'obbligherebbe a scendere per MG. Se è tale la proiezione orizzontale, che dopo 1″ la massa M si troverebbe in m, e se lo spazio dovuto alla gravità in 1″ è Mg, allora, presa mp parallela ed eguale ad Mg, per l'azione combinata di entrambe si troverà in p. Così per l'impulso orizzontale dopo 2″ la massa M si trovi in m', e per l'azione della gravità in g': ove le due forze agiscano insieme, assunta $m'p'$ parallela ed uguale ad Mg', il proiettile sarà in p'. Or per essere uniforme il moto secoudo MO sarà Mm=mm'; laonde Mm'=2Mm, ossia $g'p'=2gp$; inoltre nella discesa verticale gli spazi sono come i quadrati dei tempi, cosicchè $m'p'$=Mg' sarà quadruplo di Mg; ne vien dunque la proporzione

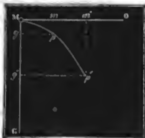


Fig. 35.

$$Mg' : Mg :: \overline{g'p'}^2 : \overline{gp}^2 .$$

Quindi la curva Mpp'.... descritta dal proiettile sarà una *parabola*, per la quale sappiamo verificarsi il teorema che le ascisse sono come i quadrati delle ordinate.

Se il mobile M (fig. 36) è spinto per MO obbliquamente all'orizzonte, si decomponga la forza di proiezione MO in due, orizzontale l'una MM', l' altra verticale MN. Questa perchè istantanea e direttamente opposta alla gravità MG forza continua ne sarà attenuata perennemente e poi distrutta, mentre la componente orizzontale rimane costante. Adunque componendosi ad ogni istante le due forze di gravità e di proiezione il grave con moto ritardato descriverà il ramo parabolico ascendente MV: nel punto V è distrutta la componente verticale, e da quel momento per la gravità, che comincia ad operare qual forza acceleratrice, diunita alla componente orizzontale, percorrerà il ramo parabolico discendente VM' affatto simmetrico al precedente. Nel giungere in M' avrà acquistato per la discesa una velocità uguale alla spinta iniziale, e ne'due rami ascendente e discendento alla medesima altezza sull'orizzonte avrà uguali velocità ma di senso contrario. Il punto culminante V, che è la massima altezza del getto, costituisce il vertice della parabola: la linea MM' ne forma l'ampiezza. La massima ampiezza corrisponde alla inclinazione della linea di proiezione all' orizzonte di 45°: teorema dimostrato anch' esso dal Tartaglia.

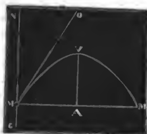


Fig. 36.

72. Esperienze ed applicazioni. A persuadersi sperimentalmente di questa maniera di moto composto s' imagini che mentre una nave è in corso con velocità quasi costante, una palla sia spinta in su per la verticale. Essa ascenderà finchè non sia estinta la velocità iniziale, e poi ricadrà nel punto stesso dal quale era stata lanciata. Apparentemente la palla si sarà mossa nell'uno e nell'altro movimento per la verticale; ma in effetto perchè animata così dalla spinta iniziale, come dal moto che à comune con la nave descrive una parabola. Per seguire il corso della traiettoria bisogna dal lido osservare l'andamento del proiettile, o altrimenti riferirlo a punti co'quali non abbia moto comune. Il così detto *carretto di Steil* dal nome del suo inventore serve al medesimo intento: men-

tre esso scorre animato da un ordigno d'orologeria con moto uniforme, vien lanciata in alto per lo scattare d'una molla o verticalmente o obbliquamente una palla, la quale descritta la sua parabola ricade sul carretto là donde era partita.

È necessario per altro avvertire che la traiettoria de' proiettili sarebbe una parabola solamente nel vuoto. Dalla resistenza dell'aria ne vien modificato sì grandemente il moto, che solo con approssimazione molto imperfetta può ritenersi parabolico.

Su questi principî è fondata la *Ballistica* o la scienza de' getti, e si applica all'artiglieria. Nel tiro del fucile si fissa la direzione mercè due punti di mira situati alle estremità della canna : si giudica che la direzione è ben presa allorchè il raggio visuale, che passa per quei punti, prolungato incontra lo scopo da colpire. Ma se l'asse della canna secondo cui esce il proiettile fosse parallelo a quel raggio visuale, il tiro andrebbe fallito, giacchè la gravità porterebbe la palla alquanto più in sotto: bisogna dunque mirare più in su. Siffatta deviazione è molto piccola ne' fucili ordinarî; ma grande in quelli a lungo tiro, di che sono armati i *cacciatori* delle milizie. Per la quale cosa (fig.37) si è fatto mobile il punto di mira

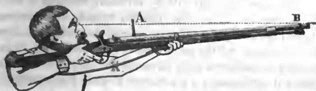


Fig. 37.

prossimo all'occhio: si alza o si abbassa secondo che deve colpirsi uno scopo più lontano o più vicino; e così, rendendosi più o meno grande l'angolo formato dalla visuale AB e dall'asse, crescerà o diminuirà l'altezza della parabola descritta dal proiettile in corrispondenza all'ampiezza del getto.

In Balistica risolvonsi svariati problemi; ad esempio, data la forza della polvere trovare l'angolo di elevazione del cannone per colpire un dato scopo: del quale la soluzione è doppia, potendo il proiettile dar nel segno o nel ramo ascendente o nel discendente della traiettoria. Parimenti dato l'angolo di elevazione e l'ampiezza del tiro, potrebbe domandarsi la forza della polvere, e simili. Ma per queste applicazioni fa d'uopo consultare trattati speciali.

PENDOLO E SUA APPLICAZIONE ALLA GRAVITÀ.

73. **Nozione del pendolo.** Un corpicciuolo A (fig. 38) sospeso per mezzo di un filo ad un punto fisso P costituisce il *pendolo*. Allorchè il filo è secondo la verticale, il pendolo non è altra cosa che un piombino (52) ; il peso del corpicciuolo vien distrutto così dalla tenacità del filo che dalla resistenza del punto fisso , ed il pendolo è in equilibrio. Ma se dalla posizione PA trasportisi nell'altra PB, e quivi si abbandoni a se medesimo , la direzione della gravità B*g* diventerà obbliqua al filo PB. Laonde decomponendola in due, una B*m* secondo il prolungamento del filo,l'altra B*n* perpendicolare ad esso,la prima vien distrutta dalla resistenza del filo generando la forza centrifuga, e la seconda,che può assumersi nella direzione dell'elemento curvilineo, obbligherà il corpicciuolo a discendere. Il moto è accelerato , ma non uniformemente perchè la forza non è costante. Infatti considerando il pendolo nell' altra posizione PB',e scomposta B'*g'* nelle due B'*p* e B'*q* , si conosce che la componente B'*p* la quale rimane distrutta è più grande di B*m* , e l' altra B'*q* è minore di B*n* ; e ciò tanto maggiormente à luogo quanto minore è l'angolo che nella successione del moto il pendolo forma con la posizione PA. Nel punto infimo A tutta la gravità è distrutta, ma allora il pendolo si troverà avere acquistato una velocità corrispondente all'altezza A'A; laonde ascenderà sino a B'' ad uguale altezza, donde ritornerà in senso contrario al punto di partenza B , per ricominciare da capo (70). Le oscillazioni sono circolari, e avrebbero durata indefinita se non fosse per la resistenza dell'aria e per l'attrito.

Fig. 38.

PA dicesi *lunghezza* del pendolo: l'arco BB'' o l'angolo BPB'' costituisce l'*ampiezza* della oscillazione.

74. Leggi delle oscillazioni del pendolo.

1.ª *Quando è costante la lunghezza del pendolo, le oscillazioni per archi molto piccoli sensibilmente sono isocrone*, cioè si compiono nel medesimo tempo.

Fu scoverta questa legge, che à recato immensi vantaggi alle scienze e alle arti, dal Galilei giovanetto a 18 anni osservando a caso il ciondolar d' una lampada nella chiesa cattedrale di Pisa. Per dimostrarla sperimentalmente, si faccia oscillare un pendolo, e si contino i secondi in cui si compiono p. e. venti oscillazioni per archi di due a tre gradi: dividendo il tempo conosciuto per venti si avrà la durata di una oscillazione. Si ripeta la medesima esperienza facendo uso di un cannocchiale, allorchè l' ampiezza delle oscillazioni è divenuta così piccola che il pendolo ad occhio nudo sembri immobile, e si troverà che la durata d'una oscillazione piccolissima è la stessa che quella di due a tre gradi. La ragione poi del fatto è in ciò, che dentro i limiti assegnati la velocità varia presso a poco nella ragione degli spazi.

L' isocronismo nelle oscillazioni circolari à luogo solo con approssimazione e per archi piccolissimi: ma nelle oscillazioni cicloidali si avvera a rigore, e qualunque ne sia l' ampiezza. Per intendere come un pendolo possa compiere oscillazioni cicloidali, sieno in un piano verticale due mezze cicloidi, che rivolgano l'una all'altra la convessità e congiungansi in alto colà dov' è sospeso il pendolo costituito da un filo flessibile. Allorchè il pendolo oscilla, il filo alternamente combacia con l'una o con l'altra mezza cicloide, per distaccarsene immediatamente e combaciare con la seconda: le due mezze cicloidi diconsi *evolventi*, la curva descritta dal pendolo si chiama *evoluta*. Or è dimostrato in geometria che la *evoluta della cicloide è una cicloide anch'essa.*

2.ª *Le durate delle oscillazioni sono tra loro come le radici quadrate delle lunghezze de' pendoli*; ossia se le lunghezze dei pendoli stanno come i numeri 1, 4, 9...., le durate d' una oscillazione saranno come 1, 2, 3,.... Poichè quando le oscillazioni sono piccole il moto del pendolo nella mezza vibrazione discendente può considerarsi come uniformemente accelerato, ed uniformemente ritardato nella mezza vibrazione ascendente. Ma in questa ipotesi la durata del moto è nella ragione della radice quadrata dello spazio (36, 2°). Inoltre dalla geometria è noto che gli archi simili sono come i raggi, i quali nel caso presente corrispondono alle lunghez-

ze de' pendoli. Adunque le durate delle oscillazioni sono come le radici quadrate di queste lunghezze.

75. **Pendolo semplice e composto.** In meccanica si dimostra, le leggi esposte aver luogo di fatto per quella maniera di pendolo ideale, che dicesi *semplice*, e consiste in una sola unità di massa sospesa per mezzo di filo mancante di peso. Il pendolo invece, che può esistere fisicamente e sottoporsi ad esperienze, di necessità è formato di una massa finita atttaccata a filo o verga pesante; e però vien costituito di più molecole congiunte insieme, ed à nome di pendolo *composto*. In questo le varie molecole sono collocate a diverse distanze dal punto di sospensione, e però oscillerebbero con velocità differenti se ciascuna fosse isolata. Ma perchè sono congiunte invariabilmente in un sistema, unica pure deve essere la velocità della oscillazione; il che non può succedere senza che le più vicine al punto fisso vengano ritardate nel loro movimento dalle più lontane, e il moto di queste seconde sia accelerato dalle prime. Si troverà dunque uua molecola a distanza tale dal punto di sospensione, che il suo moto non venga nè accelerato nè ritardato; e oscilli congiunta alle altre come se fosse sola; questa molecola situata nel così detto *centro di oscillazione*, costituirà un pendolo semplice avente la medesima velocità del pendolo composto. Anzi poichè in ogni corpo sospeso deve esservi una serie di molecole equidistanti dal punto fisso, ossia dall'asse di sospensione, questa serie costituirà l'*asse di oscillazione*. Quante volte si tratta di lunghezza di pendolo composto s'intende sempre riferirla al pendolo semplice corrispondente.

V'è un mezzo facilissimo per determinare la lunghezza del pendolo composto. L'asse di sospensione e quello di oscillazione ànno reciprocanza fra loro, cioè sospendendo il pendolo per l'asse di oscillazione, la durata delle oscillazioni rimane costante. Adunque dopo aver calcolato il tempo d'una oscillazione nella giacitura naturale del pendolo, si capovolge e si sospende ad un asse mobile. variata più volte la posizione di quest' asse si giungerà finalmente a trovarne una, per la quale la durata d'una oscillazione sia la medesima che per l'innanzi. Allora la lunghezza cercata del pendolo sarà la distanza tra il primo ed il secondo asse.

76. **Uso del pendolo come regolatore del tempo.** Galilei scopritore dell'isocronismo del pendolo ne imaginò l'applicazione agli orologi, la quale fu eseguita da suo figlio nel 1649, otto

anni prima che l'olandese Huyghens se ne occupasse. La forza motrice, come sarebbe una molla svolgentesi per la sua elasticità, o il discendere di un peso, produce per se moto accelerato, e che presto finisce; ma per mezzo del pendolo si rende uniforme e duraturo. Il pendolo allorchè è destinato a tale uso termina in su col così detto *scappamento ad ancora*, il quale consiste in un appendice ad arco di cerchio avente due prominenze come due palette. Una di queste nella posizione di equilibrio è fermata da un dente dell' ultima ruota di un sistema di ruote dentate e rocchetti, che costituisce l'ordigno d'orologeria. Quando poi il pendolo è in moto, le due palette dello scappamento arrestano alternamente or a dritta, or a sinistra quell'ultima ruota così, che ad ogni oscillazione ne lasciano passare un dente solo. A questo modo la forza che produce il moto è acceleratrice, ma l'isocronismo del pendolo oscillante lo modifica ed il riduce uniforme.

Si costruisce il pendolo così che quanto più è possibile si avvicini ad un pendolo semplice: l' asta sottilissima, ed alla estremità una massa molto pesante, affinchè il centro di gravità di essa coincida presso a poco col centro di oscillazione. A questa massa si dà forma di lente con la maggiore sezione nel piano di oscillazione per superare più agevolmente la resistenza dell'aria; e dippiù scorre lungo l'asta, e si ferma dove occorre mercè una vite di correzione disposta in giù, con che la lunghezza del pendolo si rende quale è richiesta per la durata delle oscillazioni.

Di leggieri si comprende che le variazioni di figura o lunghezza nel pendolo debban cagionare ineguaglianze nel moto; l' innalzamento di temperatura soprattutto produrrà dilatazione nell'asta del pendolo, specialmente se di metallo, e perciò ritardo, l' abbassamento invece di temperatura accelerazione. Per evitare sì grave inconveniente si costuma costruire le aste dei pendoli di legno imbevuto di olio e leggermente abbrustato, ed inoltre rivestonsi di vernice: con che si rendono insensibili all' umido e al calore. Nel libro VI indicheremo ingegnosi metodi ed esatti per costruire pendoli *a compenso*, i quali serbano invariata in qualunque circostanza la loro lunghezza.

77. Rotazione della terra intorno l'asse dimostrata per mezzo del pendolo. Allorchè un pendolo oscilla in un piano verticale, ed è mosso dalla gravità, senza comunicargli alcuna spinta iniziale, parrebbe a prima vista che quel piano dovesse

rimanere invariato in tutte le successive oscillazioni. Purtuttavolta Foucault nel 1850 annunziò una rotazione nel piano del pendolo oscillante: e poi si seppe con certezza essere questo un fatto ben conosciuto negli antichi tempi in Italia; chè in un manoscritto autografo di Vincenzo Viviani appartenente alla ricca collezione della biblioteca del Granducà di Toscana e rinvenuto dal cav. Antinori, si leggono le seguenti parole: « Osservammo che tutt' i pendoli da un sol filo deviano dal primo verticale, e sempre per il medesimo verso, cioè secondo le linee... da destra verso sinistra delle parti anteriori » (*).

Or eseguite dovunque somiglianti esperienze si è veduto, che la orientazione del piano primitivo di oscillazione si cambia con rotazione uniforme dall'est verso il sud, e con velocità angolare nella ragione composta di quella della rotazione terrestre e del seno della latitudine del luogo. Da principio il moto è in un piano, ma presto il pendolo descrive delle ellissi; ed allora il giro nella ellisse è in verso opposto alla rotazione del piano. Nelle nostre latitudini compirebbe una intera rotazione presso a poco in 36 ore; se non che in tempo molto minore il moto si arresta.

78. Applicazione del pendolo alla gravità. Il pendolo vale meglio che gli altri metodi esposti a conoscere la natura della gravità, a calcolarne il valore, a scoprirne le variazioni.

1.° Ed in primo luogo facendo oscillare corpi di diversa natura, la durata delle vibrazioni per tutti è la medesima. Questa esperienza fu eseguita la prima volta dal Newton. Egli usò due coppe di legno pendenti da fili di uguale lunghezza; la prima avea un carico non d' altro che di legno, e la seconda un carico uguale ma successivamente di sostanze diverse, oro, argento, vetro, sal comune, frumento, acqua: portati questi due pendoli ad uguale altezza angolare e lasciati a se oscillano nello stesso tempo. Adunque la forza di gravità è affatto indipendente dalla natura de'corpi, cioè le singole unità di massa sono dotate di una unità di forza uguale. Questa dimostrazione è anche più convincente della caduta nel vuoto, la quale perchè dura troppo breve tempo non sarebbe adatta a scoprire qualche piccola differenza, se mai vi fosse.

(*) V'à indizio della medesima conoscenza nelle due opere: *Saggi di naturali esperienze*, pag. 20, ediz. del 1841, e *Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche in Toscana* tom. 2, par. 2, pag. 669. Cosicchè è assicurata la priorità della scoverta, la quale per altro era rimasta ignota non pure al Foucault ma anche agl'italiani.

2.° È nota dalla meccanica la relazione che esiste fra il tempo impiegato da un pendolo per compire una oscillazione, la lunghezza di questo, e la gravità; e si dimostra che la gravità è espressa dal quadrato della ragione tra circonferenza e diametro moltiplicato per la lunghezza del pendolo e diviso pel quadrato della durata d'una oscillazione. Cosicchè dalla lunghezza del pendolo e dalla durata della oscillazione s' inferisce il valore della gravità. Così Borda valutò la gravità per Parigi essere uguale a $9^m,8088$; cioè che un grave cadendo liberamente a Parigi nel vuoto descrive nel primo minuto secondo lo spazio di $4^m,9044$, e poi in ciascun $1''$ acquista un aumento di velocità uguale a $9^m,8088$ (*).

3.° Se uno stesso pendolo oscilla in varii punti della terra, si trova che la durata d'una oscillazione cresce dai poli all'equatore; adunque la intensità della gravità non è costante alle diverse latitudini, ma divien maggiore dall' equatore ai poli. Se ne avvide il

(*) Sia l la lunghezza del pendolo che compie una oscillazione nel tempo t, π la relazione tra circonferenza e diametro cioè 3,1415926, g la intensità della gravità: allorchè le oscillazioni sono piccole si à

$$t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}};$$

dalla quale si deducono tutt' i teoremi che abbiamo dimostrati con la sola esperienza (74). Dippiù s' inferisce che la durata d' una oscillazione è indipendente dal peso del corpo, poichè in essa il tempo t è funzione della sola gravità, non del peso: ed indipendente anche dalla resistenza del mezzo, il quale influisce solo col restringere l'ampiezza della oscillazione.

Se risolviamo quella equazione per l o per g ne otterremo

$$l=g\frac{t^2}{\pi^2},\quad g=l\frac{\pi^2}{t^2}.$$

Per mezzo della prima, se è conosciuta la intensità della gravità per un luogo determinato, sostituendo invece di t un valore arbitrario si ottiene la lunghezza del pendolo che compie in esso una oscillazione. Se il tempo è costante, la lunghezza del pendolo è proporzionale alla intensità della gravità.

La seconda ci darà il valore della gravità essendo l la lunghezza del pendolo, che fa una oscillazione nel tempo t. E se in diverse latitudini si fa oscillare il medesimo pendolo, l sarà costante, ed il valore di g sarà nella ragione reciproca di t^2; ossia se t,t' sono le durate d'una oscillazione in due luoghi, le intensità g,g' della gravità saranno date dalla proporzione

$$g:g'::t'^2:t^2.$$

Inoltre poichè le durate t,t' d' una oscillazione sono nella ragione inversa dei numeri n,n' delle oscillazioni fatte nel medesimo tempo, i valori di g,g' saranno calcolati più comodamente così

$$g:g'::n^2:n'^2.$$

primo l'astronomo francese Richer nel 1662; poichè un orologio regolato a Parigi sul tempo medio (*), allorchè fu trasportato all'isola di Caienna, situata alla costa orientale dell' America del Sud a 5° di latitudine boreale, soffriva ogni dì un ritardo costante di 2',28"; ed egli ne inferì a ragione che la gravità ivi fosse minore. Osservazioni di simile natura sono state ripetute a differenti latitudini, e calcolate da F. Baily. Il valore minimo di questa forza è all' equatore $9^m,78078$; il massimo ai due poli $9^m,83110$.

Laonde perchè il pendolo compia una oscillazione in un dato tempo, deve avere differente lunghezza a diverse latitudini. La lunghezza del pendolo che batte il secondo è all' equatore $0^m,991$: a Parigi è $0^m,993$ (**).

Scema pure la gravità col crescere le altezze dalla superficie della terra. Scovrì difatti Bouguer che, essendo lungo 1 metro il

(*) Si distinguono in Astronomia tre unità di tempo. Giorno *vero*, giorno *medio*, giorno *sidereo*. Il giorno *vero* è il tempo che intercede tra due passaggi consecutivi dello stesso semimeridiano terrestre nel piano del centro solare dopo una intera rotazione della terra. La sua ventiquattresima parte è l'ora di tempo vero. Non sono tutti uguali i giorni veri, nè le ore; tra perchè l'orbita della terra non essendo un cerchio ma una ellissi, il suo moto per quella non è uniforme, e perchè l' asse della terra è obbliqno al piano dell'orbita. Prendendo la media aritmetica di tutte le differenze pel corso di un anno si à il giorno *medio*, val quanto dire quello che difatti avverrebbe se il moto della terra fosse equabile, e il suo asse perpendicolare al piano dell'orbita, cioè se l' equatore fosse nel piano dell'ecclittica. Quattro volte l'anno il tempo vero si uguaglia col medio: a'15 aprile, 15 giugno, 1 settembre, 24 decembre.

Giorno *sidereo* è il tempo che intercede tra due ritorni consecutivi di uno stesso semimeridiano ad una stella dopo una intera rotazione. Esso misura la quantità assoluta di una rotazione terrestre, ed è invariabile, giacchè è nulla ogni specie di parallasse delle stelle fisse per la immensa loro distanza dalla terra. Se ne valgono a preferenza gli astronomi.

(**) Conoscendo che il valore della gravità all' equatore è espresso da $9^m,78078$, e che la lunghezza del pendolo a secondi di tempo medio è $0^m,991$, si ottiene la gravità e la lunghezza del pendolo corrispondenti a qualunque latitudine λ per mezzo delle formole

$$g = 9^m,78078 + 0^m,\ 050321\ \text{sen}^2\lambda$$
$$l = 0^m,99100 + 0^m,0050986\ \text{sen}^2\lambda.$$

A modo di esempio si deduce che per Napoli il valore della gravità terrestre è metri 9,802429, ossia palmi 37,0532,

e la lunghezza del pendolo a secondi di tempo medio metri 0,993194, ossia palmi 3,75427.

pendolo che batte il secondo all'equatore ad a livello del mare, a Quito, ch'è all'altezza di 2857^m, quella lunghezza si riduce a 0^m, 9992, e sul Pichinca alto 4744^m a 0^m,9988.

79. **Cagioni delle variazioni nella gravità.** Due cagioni influiscono a far diminuire la gravità dai poli all' equatore. La prima è la forza centrifuga; che è massima all' equatore, minima ai poli (43), e dippiù à differente direzione relativamente alla gravità secondo che è diversa la latitudine. Imperocchè essendo sempre la forza centrifuga perpendicolare all' asse di rotazione terrestre, nell'equatore sarà direttamente opposta alla gravità; partendo poi dall'equatore, le due direzioni formano angolo tanto meno ottuso quanto è maggiore la latitudine, finchè ai poli sarebbe retto.

All'equatore la forza centrifuga è $\frac{1}{289}$ della gravità. Per ciò se la velocità di rotazione della terra fosse diciassette volte maggiore, la forza centrifuga, perchè proporzionale al quadrato della velocità (41), sarebbe espressa all'equatore da $\frac{1}{289}$ 17^2 che è l'unità, ossia uguaglierebbe la gravità, e la distruggerebbe quivi all' intutto. Se la velocità di rotazione fosse anche maggiore, i corpi sarebbero non solo non più ritenuti sulla terra dalla forza di attrazione, ma trasportati invece lungi da essa per forza centrifuga. Ciò probabilmente deve accadere ne'grandi pianeti Giove e Saturno. I tempi delle loro rotazioni sono 0,414 e 0,428, presa per unità la rotazione terrestre; ma il volume del primo è 1470,2, quello del secondo 887,30. Lo schiacciamento di Giove nel senso dell'asse di rotazione è a un di presso $\frac{1}{16}$ di esso. Per che, se nei pianeti esistessero viventi, in questi due verrebbero limitati solamente verso i loro poli, e corrisponderebbero alla temperatura enormemente bassa che colà deve regnare, così per le loro dimensioni, che per la maggiore distanza dal centro del sistema.

La sola forza centrifuga però non basta a spiegare la variazione della gravità terrestre. Imperocchè è dimostrato che la diminuzione totale della gravità dal polo all'equatore è $\frac{1}{175}$, mentre la forza centrifuga ne distrugge non più che $\frac{1}{289}$. L' altra cagione è riposta nell' essere la terra non di forma sferica, ma schiacciata

ai poli, sollevata all' equatore; per che un corpo sulla terra ad uno dei poli à relativamente più vicina la massa del globo di quel che l' abbia all'equatore.

Laonde la gravità è una forza costante solamente nel medesimo luogo. Varia con la latitudine come fu detto. A differente altezza al disopra della superficie della terra è nella ragione reciproca del quadrato della distanza dal suo centro. Penetrando poi sotto la superficie la intensità è nella ragione della semplice distanza dal centro; poichè scendendo il grave viene attratto in direzione contraria al suo camino dagli strati terrestri già trascorsi: la energia della forza diminuisce appressandosi al centro, ed in questo è nulla. Imaginiamo forata la terra secondo un suo diametro da una parte all' altra: un corpo scenderà con moto accelerato bensì, ma tutt' altro che uniformemente. Se è abbandonato da grande altezza al di sopra della superficie, la forza di gravità andrà crescendo: nella superficie avrà il suo massimo, da essa in giù andrà diminuendo. La velocità avrà sempre un accrescimento il quale diviene gradatamente minore. Nel centro la forza è nulla; ma per la velocità acquistata nella discesa salirà dal lato opposto in direzione rettilinea sino a raggiungere un' altezza sull'orizzonte uguale a quella del punto di partenza: quinci discenderà novellamente, e così per un tempo indefinito.

APPENDICE SULLE MACCHINE

80. **Macchina, potenza, resistenza.** Per l'uso che fa sovente la fisica delle macchine nelle sue esperienze, e per dare un saggio di applicazione delle poche nozioni da noi premesse sulle forze e sul moto, ne aggiungiamo qui una breve descrizione, comecchè sieno di assoluta pertinenza della Meccanica.

Si dà nome di *macchina* ad ogni strumento destinato a trasmettere l'azione di una forza che dicesi *potenza* così, da equilibrare o superarne un'altra che si chiama *resistenza*. Alcune macchine sono dette *semplici*, cioè la leva, la carrucola, l'asse nella ruota, il piano inclinato, la vite, il cuneo. Di queste variamente combinate si formano le altre che domandansi *composte*. Basterà occuparci delle semplici, e di alcune tra le composte più comunemente adoperate.

81. **Leva e suoi generi.** Si chiama *leva* o *vette* una verga inflessibile mobile intorno ad un punto fisso detto *punto di appoggio*, *ipomoclio* o *fulcro*. I punti di applicazione delle due forze potenza e resistenza possono essere variamente collocati riguardo al punto di appoggio, e da ciò si distinguono *tre generi di leve*.

1.° La leva è di primo genere (fig. 39) se il punto di appoggio è tra la potenza P e la resistenza R. Tali sono la bilancia, la stadera, le forbici, le tenaglie, il martello allorchè è impiegato a cavar chiodi, l'altalena, ed una barra (fig. 41) usata a sollevare per l'estremità A un peso M, mentre la potenza viene applicata all'altro estremo B, ed un punto intermedio poggia sovra un sostegno C.



Fig. 39.

2.° La leva è di secondo genere (fig. 40) allorchè la resistenza R è sita tra il punto di appoggio A e la potenza P. Ad essa appartengono il pedale del pianoforte, una porta girante sui gangheri, il timone nelle navi di grande portata, le aste degli stantuffi nelle trombe e delle *valvole di sicurezza* nelle macchine a vapore, le maciulle, i remi che ànno nell'acqua il punto di appoggio, il coltello da panettiere, la mascella inferiore adoperando gli ultimi denti molari.



Fig. 40.

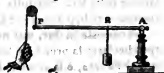


Fig. 41.

È puranco leva di secondo genere una barra, se in sollevare il peso un estremo si punta al suolo, la potenza s'impiega all' altro estremo, ed il masso pesante è tra entrambi. A questa si riduce quel carrettino ad una ruota destinato al trasporto de'materiali a mano: la ruota che va innanzi è il punto di appoggio, la resistenza è il peso adagiato sul carretto, e la potenza è applicata in dietro donde l'uomo lo sostiene e lo spinge.

3.° È finalmente la leva di terzo genere (fig. 42) quando la potenza P si trova tra il punto di appoggio A e la resistenza R. Del

quale terzo genere sono esempi le molle da fuoco, lo caccole de' telai, l'asta del torno e dell'arrotino, la mascella inferiore, allorchè si usano i denti incisivi. Ad essa puranco si riferiscono le ossa, come il *radio* e l'*ulna* dell'avambraccio, de' quali il punto di appoggio è nell'articolazione del gomito, la potenza è costituita da' muscoli flessori ed estensori, la resistenza è o il solo peso dell'avambraccio o insieme di questo e del corpo sostenuto nella mano; ed à il punto di applicazione o nel centro di gravità dell'avambraccio, o anche a distanza maggiore sul punto di appoggio.

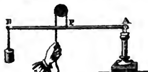


Fig. 42.

82. *Osservazioni sulla leva.* In quanto all'uso delle leve e l'azione delle forze sovra esse convien notare le cose seguenti:

1. *Leva non rettilinea.* I tre generi di leve rappresentati nelle figure 39, 41, 42, sono composti di verghe rettilinee; ma la leva può essere altresì curvilinea, o formarsi con due verghe ad angolo, nel quale caso prende nome di leva *a gomito*, o *zancata*.

2. *Leva pesante.* La leva necessariamente à un peso, il quale agisce come una forza applicata al centro di gravità di quella. E perchè la posizione di questo centro può essere diversa, così quel peso dovrà intendersi aggiunto ora alla potenza, ora alla resistenza.

3. *Forze oblique.* Affinchè la potenza e la resistenza cagionino rotazione nella leva con tutta la loro intensità fa duopo le sieno perpendicolari. Imperocchè se la forza è obbliqua, potrà sempre essere decomposta in due, una nel prolungamento della leva, l'altra perpendicolare; la prima tenderà a produrre non altro che lo stiramento della leva, e la seconda la farà girare; quindi relativamente all'effetto questa sola va considerata.

83. *Condizioni d'equilibrio nella leva.* Nella teoria delle macchine si studiano precipuamente le condizioni di equilibrio, dal quale si passa allo stato prossimo al moto, e poi al moto effettivo. Le condizioni d'equilibrio nella leva sono tre:

1.ª Tutte le forze debbono ridursi a due che tendono a far girare la leva per contrarie direzioni.

2.ª Il punto di appoggio deve poter sostenere lo sforzo della potenza e resistenza insieme.

3.ª Le intensità della potenza e della resistenza debbono essere tra loro nella ragione inversa delle braccia rispettive.

Le due prime condizioni sono evidenti per se medesime;la terza abbisogna di chiarimento. *Braccio* di una forza è la *distanza tra i punti di appoggio e di applicazione*; in generale, volendo considerare anche le forze oblique alla verga, è *la perpendicolare tirata dal punto di appoggio sulla direzione della forza*. Or per l' equilibrio di un sistema di due forze parallele fa d' uopo si distrugga la loro risultante : questo non potrà avvenire nella leva senza che la risultante delle due potenza e resistenza incontri con la sua direzione il fulcro,unico punto fisso in tutto il sistema.Adunque saranno gli stessi i caratteri di posizione del punto di appoggio che quelli del centro di due forze parallele : e però conviene che la potenza stia alla resistenza come il braccio di questa al braccio di quella.

84. Momenti di rotazione. L'apparecchio delineato nella figura 43 vale bene a verificare le condizioni d'equilibrio ne'tre generi di leva. Per quella di primo genere si consideri solo una verga mobile in un piano verticale intorno al pernio A, che è il punto di appoggio: i pesi p,p', di che si grava da un lato e dall'altro, la farebbero girare in senso contrario; se sono uguali, per l'equilibrio, debbono essere applicati ad uguale distanza dal punto A; se comunque inuguali, a distanzo che sieno uella ragione inversa dei pesi stessi. Per le leve degli altri due generi si aggiunga una seconda verga mobile intorno al pernio B nel medesimo piano verticale: il filo *mn* la congiunga con la prima, della quale la sola porzione A*p* indica la leva. Se al punto *o* dell'asta superiore si sospenda un peso, questo farà girare in su la leva A*p*,come se fosse applicato in *m* ad uguale distanza dall' asse AB; e perchè ad un peso come due traente in *o* faccia equilibrio un peso *p* uguale all'unità, questo deve operare ad una distanza A*p* doppia di B*o*.

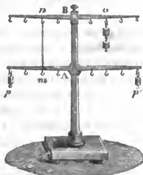


Fig. 43.

Se uno dei pesi venga distolto dalla posizione verticale, la leva s'inclinerà nel senso del peso opposto, secondo che fu dimostrato col principio della risoluzione delle forze.

Si chiamino dunque P, R la potenza e la resistenza, p, r le loro braccia; per l'equilibrio deve aver luogo la proporzione

$$P: R:: r: p, \text{ donde } Pp = Rr.$$

Il prodotto di una forza pel proprio braccio chiamasi *momento di rotazione* di quella forza, e misura la intensità della rotazione prodotta. Laonde la terza condizione di equilibrio nella leva può anche enunciarsi a questo modo « che *il momento di rotazione della potenza uguagli il momento di rotazione della resistenza* ».

Dalla teoria de' momenti di rotazione ne conseguita, che nella leva di primo genere con una data potenza si può fare equilibrio ad una resistenza comunque intensa, e ciò col dare alle braccia la giusta proporzione a norma di quella legge. Nella leva di secondo genere, perchè il braccio della potenza è sempre maggiore di quello della resistenza, i due momenti saranno nella medesima ragione, e perciò la potenza necessaria all' equilibrio è da meno che la resistenza. Avviene il contrario nella leva di terzo genere. Ma su questo argomento ritornerem tra breve.

85. **Bilancia.** La bilancia comune consiste essenzialmente in una leva di primo genere detta *giogo* o *flagello* girevole intorno alla metà di sua lunghezza in un piano verticale; dagli estremi pendono due bacini o coppe sospese con catenelle o fili metallici: in una si pone il corpo da pesare, nell' altra le unità di peso. Al punto medio del giogo in su o in giù è unito un indice che scorre lungo un arco graduato e misura l' ampiezza della oscillazione. Allorchè quello è orizzontale l' indice corrisponde allo zero.

In una buona bilancia a due proprietà si deve mirare precipuamente: alla esattezza ed alla sensibilità.

Condizioni per la esattezza di una bilancia.

1.° *La lunghezza del giogo deve rimanere invariata nell' atto di pesare.* S' intende per questa lunghezza la distanza tra i punti di sospensione de' due bacini; ed affinchè sia costante, i fili che sostengono le coppe sono uniti a gancetti con angolo molto acuto, e questi si poggiano sopra somiglianti spigoli acuti co' quali è terminato il giogo ai due estremi. A questo modo ogni piatto pende da un punto solo, e sempre dal medesimo comunque la bilsncia oscilli.

2.° *Le due braccia della bilancia debbono essere uguali in lunghezza e del medesimo peso.* Senza che la bilancia sarebbe, come dicesi, *falsa*, e giustamente, poichè dalla teoria delle leve si rende chiaro che per la uguaglianza de' momenti di rotazione si richiederebbero pesi ineguali ne' due piatti. Per verificare se questa condizione resti adempiuta, si pongono tali pesi ne' due piatti che il giogo si disponga orizzontale: poi si trasferiscono a vicenda i pesi

di un bacino nell'altro; se il giogo resta orizzontale, la condizione è sodisfatta, per essere uguali i due pesi: altrimenti il giogo s' inclinerebbe dal lato del peso maggiore.

Inoltre perchè la uguaglianza delle braccia non varii nell'atto di pesare, il flagello vien traversato da un asse conformato a prisma triangolare con lo spigolo molto acuto in giù: questo spigolo detto *coltello*, sostenuto da un piano orizzontale, o tra due cuscinetti ad angolo molto acuto, costituisce l' asse di rotazione, intorno cui oscilla il flagello.

Metodo di Borda. Purtuttavolta essendo ben difficile quella uguaglianza a rigore, è prezioso il metodo per ottenere una pesata esatta, comecchè le braccia della bilancia non sieno uguali. Questo metodo, chiamato *pesata per sostituzione*, o *doppia*, o *di Borda* dal nome dell'inventore morto a Parigi nel 1799, consiste nel porre in uno de'piatti il corpo da pesare, ed equilibrarlo con pallini di piombo o con sabbia nell'altro: poi si toglie il corpo dal primo piatto, e sostituendo in sua vece le unità di peso si ristabilisce di nuovo l'equilibrio. Queste unità daranno con esattezza il peso del corpo indipendentemente dalla uguaglianza delle braccia.

3.° *La bilancia in qualunque sua posizione deve godere di equilibrio stabile.* Tale condizione si consegue quando il centro di gravità dell'intero sistema rimane nel piano verticale dell' asse di sospensione, ma al di sotto di esso. Se il centro di gravità fosse nell'asse l'equilibrio sarebbe indifferente, e la bilancia dicesi *sorda.* Se poi al di sopra dell'asse, l'equilibrio diventerebbe instabile, cosicchè ad ogni minimo eccesso di peso la bilancia si rovescerebbe, per che acquista nome di *folle.* Questo equilibrio stabile deve aver luogo non solo quando i due piatti sono scarichi, o gravati di pesi uguali, ma anche allorchè i pesi sono ineguali; nel quale ultimo caso il peso maggiore solleverà dal lato opposto il centro di gravità della bilancia, ma per la tendenza a scendere corrispondente alla lunghezza dell' arco descritto in sollevarsi tornerà all' equilibrio: l'indice devia proporzionalmente alla differenza dei pesi.

A tutte queste condizioni sodisfa mirabilmente il modello della fig. 44; è una *bilancia di precisione* destinata alle analisi e ricerche chimiche, e gode di sensibilità squisitissima.

86. *Condizioni per la sensibilità di una bilancia.* Più o meno sensibile si dice la bilancia in ragione della tenuità del peso necessario perchè il giogo dalla giacitura orizzontale passi a nuova posi-

zione d' equilibrio; sia quella carica o scarica. Eccone le condizioni.

1.° *La porzione della bilancia che costituisce il sistema sospeso deve esser leggiera quanto più è possibile*; poichè tanto più facil-

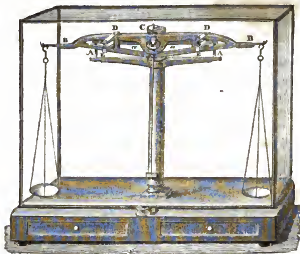


Fig. 44.

mente il centro di gravità sarà spostato per ogni minimo eccesso di peso aggiunto ad uno de' piatti. Siccome però questa leggerezza deve essere in ragione della portata della bilancia secondo gli usi a cui è destinata, si deve aver cura di nulla sottrarre alla solidità: senza che gravando i due piatti oltre un certo limite, il giogo si piegherebbe, e verrebbe a mancare la prima dote di una buona bilancia, la esattezza; dell'uno e dell'altro pregio è fornita l'asta BB formata di due pezzi DD, EE congiunti insieme.

2.° *Il suo centro di gravità deve essere quanto più dappresso all'asse di rotazione*. Con ciò appena l'asta si allontana dalla posizione di equilibrio, il centro di gravità sollevatosi tanto meno impedisce le oscillazioni quanto è più piccolo il braccio di leva su cui opera, cioè quanto è minore la sua distanza dal centro di rotazione. A tale uopo la retta che unisce i punti di sospensione dei due bacini incontra l' asse di sospensione del giogo. Imperocchè se quella retta passasse al di sopra dell' asse, si correrebbe pericolo di aver nella bilancia equilibrio instabile; se al di sotto, potrebbe

rimanere troppo basso il centro di gravità e la bilancia farsi torpida.

3.° *L'attrito delle varie parti a contatto deve essere minimo.* Or l'attrito è in proporzione di differenti elementi (69), così va scemato con vari artifizi. Primamente l'attrito, perchè dipendente dalla pressione, sarà in ragione inversa del peso di tutto il sistema sospeso. Inoltre si restringe il numero de' punti di contatto tra coltello e sostegno; e questo pure è uno dei vantaggi che si trae dal coltello a prisma con angolo molto acuto.

Dippiù coltello e sostegno si fanno di sostanze diverse, e molto dure; per esempio acciaio ben temprato, ed agata.

Finalmente essendo maggiore l'attrito se il contatto à durato qualche tempo, si usa di sostenere il giogo per mezzo di una *forchetta* quando la bilancia è in riposo, e solo nell'atto della pesata si fa poggiare il coltello *k* sul sostegno. La forchetta consiste nella verga *aa* con due traverse orizzontali EE, le quali al salire della forchetta spingono e sorreggono le due appendici DD unite al flagello. La verga AA è congiunta alla colonna della bilancia, ed à due guide verticali agli estremi per regolare il moto della forchetta. Questa vien sollevata mediante il manubrio *o* collocato sulla base, il quale comunica il moto ad una leva che è nell'interno della colonna.

È tanto più pregevole la sensibilità di una bilancia quanto è maggiore il peso di che è gravata. Si giudicano perfettissime quelle, che mentre sostengono un chilogrammo valgono ad indicare la differenza d'un quarto di milligrammo (*).

87. Bilancia di Quintenz. Le bilance ordinariamente ànno il punto di sospensione più elevato dei bacini; ma se ne costruiscono pure delle altre, nelle quali avviene il contrario. Questo pel grande attrito non ànno tale sensibilità da poter servire come bilance di saggio nelle analisi, ma riescono comodissime nello offi-

(*) La bilancia di Steinheil à una squisitezza di sensibilità che supera ogni credenza. Basta a turbare l'equilibrio non pure la presenza di più osservatori, ma financo l'ineguale calore raggiato o diffuso dalle pareti di una camera, il quale dilati più l'uno che l'altro de' due piatti. Laonde chi sperimenta deve operare solo, e non alla luce del giorno, ma di una lampada che debolmente risplenda. Non fa bisogno avvertire che l'indice non è mai in riposo, e si argomenta la uguaglianza de' pesi dalla uguaglianza degli archi descritti a dritta e sinistra dello zero. Nel mezzo del giogo è collocato uno specchietto piano, e con un teodolita si guarda in esso la imagine della scala, la quale è situata alla base del teodolita.

cino per pesare oggetti voluminosi. Ve n'à pure di altre, nelle quali la maniera di sospensione è abbastanza complicata. Valga per tutte la bilancia di Quintenz così detta dal nome del suo inventore, espressa nelle figure 45 e 46.

Essa consiste in una leva LN mobile intorno al punto K a brac-

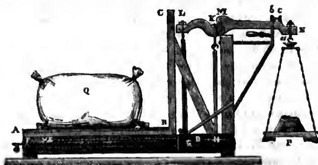


Fig. 45.

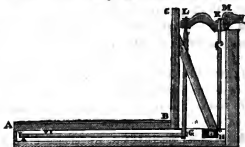


Fig. 46.

cia ineguali: all'estremo N del braccio più lungo è sospeso un piano P per collocarvi le unità di peso; sull'altro braccio si esercita nel seguente modo la pressione della massa Q che vuole pesarsi. Il piano AB, che fa corpo col pezzo BC ad angolo retto e con la traversa CD, poggia da un lato in E sulla leva FG, la quale essendo mobile intorno al punto E vien sostenuta in G dal regolo LG, e dall'altro lato in H è unita a gancio con un anello, che è alla estremità inferiore del secondo regolo HK. Inoltre tutta la leva GF à la medesima relazione di grandezza alla sua porzione EF, che KM ad LM, cosicchè p. e. se GF è quintupla di EF, anche LM sarà quintupla di KM. Da ultimo suole essere KM il decimo di MN.

Or da questa distribuzione di parti conseguita che il corpo Q a-

gisce sulla leva LN come se fosse sospeso immediatamente al punto K. Infatti adagiato com'è sul piano AB, il suo peso sarà diviso tra i due punti di appoggio E ed H. La pressione esercitata in H si trasmetterà intera al punto K, ma la seconda pressione eseguendosi nel punto E della leva GF, cui corrisponde un braccio cinque volte minore di GF, si trasferisce al punto L ridotta al quinto; se non che essendo ugualmente il braccio LM quintuplo di KM, anche questa seconda parte del peso opera come se intera fosse applicata in K. Laonde per fare equilibrio al corpo Q convien porre sul piano P un peso che stia a quello nel rapporto inverso di MN a KM, ossia il peso di Q sarà rappresentato dal decuplo delle unità collocate in P.

Prima di pesare fa d'uopo assicurarsi che la leva LN è orizzontale; e si argomenta dal corrispondersi l'un l'altro di rincontro i due punti *b*, *c*, de' quali il primo è fisso, ed il secondo è unito alla leva. Essendo inclinata si rende orizzontale con aggiungere nella coppa *a* dei pesi, ai quali si dà il nome di *tara*.

88. **Stadera.** La *stadera* o *bilancia romana* consiste in una leva mobile intorno ad un punto, e sospesa per esso ad un anello assai dappresso ad una sua estremità: da questa pende il corpo da pesare con semplice uncino, o in apposita coppa.

Essa à il vantaggio sulle bilance comuni di non abbisognare di varie unità di peso, ma una sola massa chiamata *marco* o *romano* scorrevole per la sua lunghezza basta ad equilibrare corpi di vario peso, con portarla a maggiore o minore distanza dal fulcro. È necessario per graduarla aver prima calcolato le lunghezze delle braccia di leva in corrispondenza ai pesi dei corpi. Anzi perchè una stadera possa determinare pesi assai diversi, è munita di due anelli di sospensione; il prossimo alla coppa pe'corpi più pesanti, e l'altro pe' più leggieri.

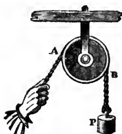


Fig. 47.

89. **Carrucola.** La *carrucola*, chiamata pure *girella*, *puleggia*, *troclea* (fig. 47), può girare liberamente intorno ad un asse il quale passa pel suo mezzo. L'asse può essere congiunto alla carrucola e rotare con essa poggiando lateralmente co'suoi estremi su due cuscinetti incavati, e può anche traversare un foro che sia nella carrucola e restare immobile al girare di que-

sta. Nel contorno della puleggia v'è una scanalatura su cui è applicata una corda, la quale dopo aver combaciato con esso per una porzione di sua lunghezza se ne stacca dall'una e dall'altra banda con direzioni tangenti la circonferenza di quella. Inoltre la carrucola dicesi *mobile* o *fissa* secondo che il suo asse è dotato di moto di traslazione o ne è privo.

La figura 47 presenta la puleggia fissa. Un peso P è ad una estremità della corda; all'altra v'è una forza di trazione, cosicchè la potenza e la resistenza sono in A e B. Laonde ogni cosa avviene come se le due forze agissero agli estremi di una leva a gomito a braccia uguali, poichè non sono altro che raggi della carrucola. Adunque per l'equilibrio la potenza deve uguagliare la resistenza, ossia il peso P.

Non è così per la carrucola mobile. Un capo della corda sia fisso (fig. 48), all'altro si applichi la potenza, ed il peso da sollevarsi penda dal centro della puleggia. È chiaro che nel caso di equilibrio i due capi della corda sono tesi ugualmente, cioè il punto fisso sostiene uno sforzo uguale alla potenza; e la loro risultante uguaglia il peso del corpo. Adunqne allorchè quei capi sono paralleli, ed è il caso più favorevole alla potenza, essa deve essere uguale alla metà di quel peso.

90. **Taglia, polispasto.** Con unire insieme parecchie girelle si formano più macchine composte a norma delle dimensioni e collocamento, e secondo che ve n'à un numero maggiore di mobili in paragone alle fisse. Esse hanno il nome di *taglia* o *polispasto*. Consideriamo prima una taglia di carrucole girevoli intorno al medesimo asse, o intorno ad essi paralleli congiunti invariabilmente (fig. 49). S'imaginino due taglie disposte inversamente una sotto l'altra così che una sia sospesa ad un sostegno fisso, ed all'altra sia attaccato un peso R. Questa speciale maniera di combinazione vien chiamata dai tecnici *paranco*. Una corda legata alla taglia superiore ne discenda, e passi alternamente prima per la scanalatura d'una carrucola inferiore, e poi per la corrispondente della superiore, e così di seguito, finchè dopo averle abbracciate tutte, un suo ramo penda dall'ultima girella della taglia superiore: a questo si applichi una forza di trazione P. Or egli


Fig. 48.

è chiaro che la corda è ugualmente tesa in tutt'i suoi capi da ogni lato di ciascuna girella, i quali possono anche riguardarsi come paralleli; e poichè tutti insieme sostengono lo sforzo della resistenza, ciascuno ne sopporterà una frazione corrispondente al loro numero, e tale sarà anche la potenza da applicarsi al capo libero della fune per avere l'equilibrio. Ossia « *la potenza starà alla resistenza come la unità al doppio numero delle pulegge* ».

Il *polispasto* (fig. 50) si può comporre anche di una carrucola





Fig. 49. Fig. 50.

fissa e di un numero indeterminato di altre mobili. La prima è sospesa pel suo asse ad un sostegno orizzontale: una corda al cui capo si applica la potenza P, passa su per la gola di quella; poi abbraccia una carrucola sottoposta, e coll' altro capo si lega a quel sostegno. Tutte le girelle seguenti sono così congiunte che ognuna sia abbracciata da una corda indipendente dalle altre, della quale un capo è legato all' asse della girella anteriore, e l'altro ascende sino al sostegno. All'ultima carrucola è attaccato il peso R.

Supponendo che i capi delle corde sieno paralleli, per l'equilibrio si richiede, che « *la potenza stia alla resistenza come l'unità ad una potenza del numero 2, avente per indice il numero delle girelle mobili* ». Questa legge senza difficoltà s'inferisce dalla teoria delle carrucole mobili, applicando il ragionamento prima a due di esse, e poi ad un numero maggiore. La puleggia fissa non altera per niente

la relazione tra potenza e resistenza, ed è chiamata *carrucola di rimando* poichè vale a trasmettere più comodamente l'azione della potenza.

91. Asse nella ruota. Questa macchina (fig. 51) è formata da una ruota di grande diametro, cui è fissato un cilindro BB di diametro minore così, che l'asse di questo passi pel centro di quella, e sia perpendicolare al suo piano. Gli estremi dell'asse sono incassati in due cuscinetti fissi CC, e tutto il sistema delle ruote insieme e del cilindro può girare intorno ad esso. Si fissi al cilindro una corda A, che gli si avvolge attorno, ed alla estremità à un peso P. La potenza F si applica alla periferia della ruota secondo la tangente; e vale il medesimo ancorchè manchi la ruota, ed esistano i

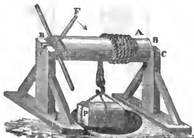


Fig. 51.



Fig. 52.

soli raggi; o anche se il cilindro à de' fori nel suo contorno, e successivamente s'introduca in essi una barra, alla cui estremità va applicata la forza.

Se l' asse è orizzontale, e il piano della ruota verticale, come nella figura, si à la macchina detta *burbera* o *verricello*, e vale per sollevare pesi. Se ne trova la condizione di equilibrio osservando, che in qualunque punto del cilindro si fissano i raggi alla cui estremità è applicata la potenza, l' effetto sarà sempre il medesimo, purchè essi conservino la stessa lunghezza, e restino perpendicolari. Adunque supporremo più semplicemente che il raggio NO della ruota (fig. 52), e l' altro OM di un giro della corda intorno al cilindro sieno nello stesso piano. Ma allora è evidente che la forza F e la resistenza P agiranno come agli estremi di una leva zancata NOM, e che ON è il braccio della potenza, OM quello della resistenza. Laonde richiedesi per l'equilibrio, che « *la potenza stia alla resistenza come il raggio del cilindro a quello della ruota* ».

Allorchè l' asse è verticale e la ruota orizzontale, la macchina domandasi *argano* (fig. 53), e si usa per trarre orizzontalmente. La condizione di equilibrio è la medesima che la precedente; e però in entrambe si deve avvertire, che se la fune si avvolgesse sopra se medesima, il braccio della resistenza andrebbe aumen-

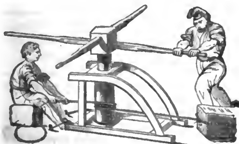


Fig. 53.

tando a danno della potenza. Per allontanare quest'inconveniente si costuma, specialmente nell'argano, che la fune dopo due o tre avvolgimenti attorno l'asse si tenga tesa dall'altro capo a mano di uomo, la forza del quale diunita all' attrito della corda sull' asse sieno capaci di sostenere lo sforzo della massa pesante.

92. **Fune perpetua, ruote dentate.** Valgono a trasmettere il moto di rotazione da un asse a un altro parallelo o inclinato.

Se gli assi sono paralleli e discosti, si fissano loro due tamburi, abbracciati da una fune tesa, che compito il giro ritorna: imprimendo rotazione per mezzo di manovella ad uno degli assi, l' attrito della fune farà volgere anche l'altro nel medesimo senso.

Se gli assi sono molto vicini, possono loro applicarsi due tamburi, le cui superficie si tocchino a sfregamento: l'attrito farà che rotando il primo si volga l'altro, ma in contrario senso.

Quante volte però il secondo albero nel girare deve vincere una grande resistenza, come p. e. se deve alzarsi una massa molto pesante, allora la semplice adesione non sarebbe valevole alla comunicazione del moto, ed il primo albero girerebbe solo. In questi casi si adoperano le *ruote dentate* ed i *rocchetti*, i quali insieme costituiscono ciò che dicesi sistema d'*ingranagio*: il rocchetto non è altro che una ruota di raggio assai piccolo relativamente all' altra con cui *ingrana*. Per intenderne la teoria e la relazione tra

potenza e resistenza, sieno le due ruote dentate C, D, (fig. 54), alla prima dello quali col mezzo della manovella B si applica la forza F, per far girare il verricello A destinato a tirare su il pe-

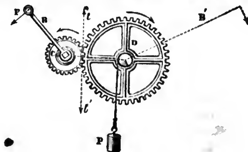


Fig. 54.

so P. È evidente che il moto della prima ruota fa girare la seconda in senso contrario, come indicano le frecce. I denti della ruota C eserciteranno su quelli della ruota D una pressione t in su, la quale sarà un multiplo di F espresso dalla ragione della manovella B al raggio della seconda ruota. I denti di questa producono dal canto loro una pressione t' su quelli dell'altra di sopra in sotto, la quale deve essere distrutta dalla pressione t. La forza F opera come se fosse applicata direttamente alla seconda ruota con una manovella B' avente al raggio della ruota D la medesima ragione che la manovella B al raggio di C. E poichè le manovelle B, B' ànno tra loro il medesimo rapporto che i raggi delle due ruote, e i raggi sono nella medesima ragione delle circonferenze, o anche del numero dei denti, supponendoli com'è necessario uguali, si deduce che se la ruota D à un numero doppio, triplo, quadruplo di denti che la ruota C, la potenza F applicata alla manovella B potrà sostenere un peso doppio, triplo, quadruplo, che se fosse applicata alla manovella B', e quindi « *per lo equilibrio ne'sistemi di ruote dentate è necessario che la potenza stia alla resistenza nella ragione inversa del numero di denti delle due ruote* ».

La condizione di equilibrio per le funi perpetue è la medesima cioè *potenza e resistenza in ragione inversa de'raggi de'due tamburi*, ed il ragionamento procede in tutto allo stesso modo.

Per mezzo delle ruote dentate si può comunicare il moto da un asse o da un albero ad un altro non solo quando essi sono paralleli, ma anche quando sono inclinati ad angolo.

93. **Capra, grua.** Col verricello e la puleggia, e talvolta pure con le ruote dentate si forma la macchina composta detta *capra*. La più semplice di tutte vien rappresentata nella figura 53. Tre vigorose travi comunemente di legno riunite ad angolo sostengono nel vertice una puleggia C; una fune cui è legato il peso P passa per la scanalatura di questa, e si avvolge mercè il verricello T. È chiaro che la carrucola serve solo a trasmettere il moto, e richiedesi la stessa forza che se il verricello operasse da se. Quando si tratta di sollevare massi molto pesanti si aggiunge al verricello un sistema di ruote dentate.

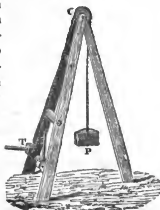


Fig. 53.

La *grua* è composta ancor essa di una o più pulegge, delle quali sovente una è mobile, e d'un verricello con sistema di ruote dentate, o senza; ma inoltre tutto il sistema è mobile intorno a un asse verticale in guisa, che sollevato il peso si può trasportarlo dove piace in direzione orizzontale. È usitatissima specialmente ne' porti per discaricare le navi, e nelle fonderie per trasportare dai forni le secchie co'metalli fusi e versarli nelle staffe.

94. **Piano inclinato, vite, torchio.** Il *piano inclinato*, del quale abbiamo esposto altrove la teoria (68), è una macchina semplice di cui si fa uso utilmente per sollevare un corpo, impiegando forza men valida di quella richiederebbesi per vincerne tutto il peso. Avvegnacchè per ispingerlo in su lungo un piano inclinato bisogna superare non altro che il peso relativo, che può affievolirsi a piacimento aumentando in corrispondenza la lunghezza del piano inclinato, e diminuendo così l' angolo che esso forma coll'orizzonte. Per mezzo del piano inclinato a mo'd'esempio si fan discendere nei sotterranei con la sola forza di uno o due uomini botti piene del peso di più centinaia di chilogrammi; ed è pure un'applicazione del piano inclinato quella maniera di carretto ideato da Pascal, del quale le stanghe non fan corpo con la parte anteriore, ma sono congiunte ad essa per un asse, intorno cui possono girare: così s'inclinano fino al suolo in dietro, ed il carretto si carica e si scarica facendo strisciare i fardelli.

La teoria della *vite* è conseguenza di quella del piano inclinato. S'imagini un cilindro, nel cui contorno si avvolga una linea saliente così, che sia uguale la distanza tra le spire successive. Questa distanza costante vien chiamata *passo della vite*, il cilindro medesimo contornato di spire si dice *maschio della vite*, o semplicemente *vite*, ed il filo sporgente *pane della vite*. Inoltre si dà nome di *madre-vite* o di *chiocciola* ad un solido internamente incavato ad elice in guisa che v' entri a capello il maschio della vite. Or il maschio insieme e la madrevite costituiscono in complesso la macchina di cui trattiamo, nella quale talvolta succede il contrario, cioè il maschio è all'esterno della chiocciola; ma sono sempre le stesse le leggi del moto, il quale accade strisciando un pezzo nell'altro, e vien prodotto da una potenza applicata parallelamente alla base del cilindro.

A modello della vite togliamo il *torchio* (fig. 56) destinato ad esercitare forti pressioni. Esso componesi di una vite A, la quale gira nella chiocciola B solidamente congiunta ad una base. Quella finisce in giù con rigonfiamento avente due fori normali l'uno all'altro, ne'quali s' introduce successivamente una barra, alla estremità di cui va applicata la potenza. Alla vite è fissata una traversa D mobile con essa lungo due guide parallele N, M, che ne regolano il moto. Il corpo che deve sostenere la pressione si colloca sul piano E; questo à un canale in giro e un becco e servono per dare scolo al succo, che si può estrarre mediante la pressione.

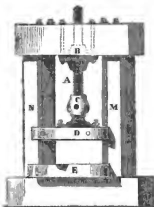


Fig 56.

Ciò premesso, una molecola del maschio si muove nella chiocciola come sopra un piano inclinato: l'altezza è il passo della vite, la lunghezza è una intera spira, e la base è la circonferenza del cilindro, su cui si aggira la vite.

Adunque poichè la forza è orizzontale, supponendola applicata alla molecola stessa sul maschio, per l'equilibrio la potenza deve stare alla resistenza come il passo della vite alla circonferenza della base.

E siccome la forza non si applica immediatamente al maschio, ma alla estremità d'una leva, ne dedurremo che « *la potenza sta alla resistenza come il passo alla circonferenza del cerchio avente per raggio il braccio di leva, cui la potenza è applicata* ». Laonde quanto più piccolo è il passo della vite, o più lunga la leva, tanto maggiore pressione si può cagionare con la medesima forza.

Diminuendo il passo della vite si scema del pari la forza necessaria all'equilibrio, ma nella stessa ragione cresce la pressione cagionata sul pane dalla resistenza in tanto, che essendo la potenza debolissima, la pressione sarà quasi eguale al peso assoluto della resistenza. Or per impedire che quando il peso eccede un certo limite la vite si rompa, ogni spira del maschio e della chiocciola si forma di parecchi filetti sporgenti nell'uno rientranti nell'altra, al numero de' quali corrisponde lo sforzo che senza lesione la vite può sostenere.

La vite può essere disposta così che, invece di girare nella chiocciola, incastri i suoi pani ne'denti di una ruota dentata, la quale con ciò è obbligata a rotare al volgersi di quella. Si à così una specie di macchina composta detta *vite perpetua*, poichè perennemente l'azione della vite produce rotazione della ruota. Se all'asse della ruota si lega una corda che regge un peso, e si applica alla vite una forza, questa farà ascendere il peso con trarre vantaggio insieme dalle leggi della vite, e dell'asse nella ruota.

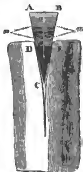


Fig. 57.

95. **Cuneo.** Il *cuneo* (fig. 57) consiste in un prisma triangolare ed isoscele ACB di materia molto tenace, come di legno ben compatto o meglio di ferro, del quale la base AB detta *testa* del cuneo è assai minore de' due lati uguali CA, CB. Se ne fa uso per dividere in due un masso resistente, e ciò con introdurre lo spigolo acuto in una fenditura antecedentemente operata, e con applicare sulla base una forza perpendicolare. Per determinare le condizioni di equilibrio tra questa forza e le pressioni che le due facce del cuneo sostengono dall'orlo della fenditura in D ed E, si osservi che tali pressioni debbono essere normali alle facce stesse; perciò rappresentandole mercè le linee *om*, *on*, e compiendo il parallelogrammo *ompn*, la diagonale *op* sarà la loro risultante. Laonde per l' equilibrio deve applicarsi

in testa al cuneo una forza uguale ad *op*. Or i due triangoli ACB, *onp* simili per avere i lati rispettivamente perpendicolari danno la proporzione

$$op : on :: AB : AC,$$

adunque « *quanto minore è la testa del cuneo, o più acuto il suo spigolo, tanto più debole forza sarà richiesta per l'equilibrio* ».

96. **Osservazioni.** Sulla maniera di agire delle macchine è necessario por mente alle seguenti avvertenze:

1.° *Due specie di macchine.* Tutte le macchine possono distribuirsi in due grandi categorie giusta lo scopo cui sono ordinate. Imperocchè o con esse s' intende di ottenere da una forza il maggiore effetto possibile, ed allora se ne trasmette l'azione così che non si affievolisca, ed invece si rendano minime tutte le resistenze. Valgano di esempio la puleggia fissa e la bilancia di precisione.

O pure si vuole per mezzo di una macchina il cangiamento della sola direzione, o anche la trasformazione della natura del moto; e in questi casi poco si bada alle resistenze, come nelle leve di terzo genere, e nelle ruote dentate.

2.° *Macchine in moto.* Se la forza applicata ad una macchina è istantanea, il moto deve cessare più o men prestamente; poichè gli si oppongono le resistenze, le quali a buon dritto vanno considerate come forze continue. Se poi la forza è continua, il moto sarà dapprima accelerato tra perchè la velocità va crescendo per gradi, e perchè le resistenze sono deboli; ma queste crescono in ragione più rapida che non i valori delle velocità, seguono cioè la legge dei loro quadrati; laonde in ultimo li uguaglieranno, ed allora il movimento si ridurrà uniforme.

3.° *Ciò che si guadagna in forza si perde in velocità.* Si andrebbe troppo lungi dal vero se si pensasse, che per mezzo delle macchine si possa aumentare l'effetto di una forza; imperocchè è agevole persuadersi passando a rassegna le varie specie di macchine, che quanto si guadagna in forza si perde in un altro elemento del moto, nella velocità, ossia nello spazio o nel tempo. Ed in vero nelle leve una potenza può mettere in moto una resistenza maggiore nella ragione, in cui il braccio della prima supera quello della seconda; ma il punto di applicazione della potenza dovrà descrivere in egual tempo uno spazio maggiore che la resistenza, cioè la velocità di questa sarà di altrettanto minore. E perciò se pure Archimede avesse rinvenuto quel punto di appoggio che chiedea per ismuove-

re la terra con una leva e col solo peso del suo corpo, lentissimo ne sarebbe stato il moto prodotto; chè per sollevarla d'un solo millimetro egli avrebbe dovuto correre meglio che venti quadriglioni di anni con velocità di 50 metri al minuto. Quando una potenza minore fa equilibrio a resistenza maggiore, neppure deve supporsi aumento nella forza, poichè in effetto l'eccesso dell' una sull'altra è sostenuto dal punto di appoggio, il quale opera come una forza direttamente opposta ed uguale alla risultante della potenza e della resistenza.

Nella puleggia mobile la potenza è la metà della resistenza; ma perchè il peso si sollevi a data altezza, il moto della potenza deve esser doppio. Nella taglia il moto della potenza è a quello della resistenza in ragione inversa dell' una all' altra. E senza più parole dicasi altrettanto dell'asse nella ruota, del piano inclinato, ed in generale di tutte le macchine semplici e composte.

Nè altrimenti va la cosa nella meccanica muscolare. Il muscolo è impiantato molto obbliquamente all'osso, ed il braccio della potenza è minore di quello della resistenza, come in generale nelle leve di terzo genere. Ma se per queste due condizioni di giacitura vi è consumo di forza muscolare, si trae anche un doppio vantaggio; cioè sveltezza nella costituzione delle membra dalla prima, e rapidità nei movimenti dalla seconda.

Adunque potenza e resistenza sono sempre nella ragione reciproca degli spazi; donde si deduce che la potenza computata secondo la direzione del moto e moltiplicata per lo spazio descritto è uguale al prodotto della resistenza computata ugualmente e dello spazio. Questo prodotto di una forza espressa in chilogrammi per la linea segnata nel moto dal punto di sua applicazione valutata in metri, si chiama *lavoro di una forza* o *effetto dinamico*. Il lavoro dunque di una forza rimane il medesimo finchè è costante la intensità di quella; ed inoltre *il lavoro della potenza uguaglia sempre il lavoro della resistenza.*

4.° *Unità di lavoro.* Si è convenuto di scegliere per unità di misura nel valutare l'effetto di una forza il peso di un chilogrammo innalzato all' altezza di un metro in 1", e questo è ciò che chiamasi *unità di lavoro, unità dinamica, o chilogrammetro.* Così un lavoro col quale si trattasse di sollevare 8 chilogrammi all'altezza di 5 metri avrebbe per misura 40 chilogrammetri, e sarebbe uguale evidentemente a 5 chilogrammi elevati all'altezza di 8 metri.

LIBRO SECONDO

ATTRAZIONE MOLECOLARE

E proprietà speciali de' corpi solidi.

VARIE MANIERE DI ATTRAZIONE MOLECOLARE.

97. Generale carattere delle forze molecolari. Tutte le forze operanti sulla materia agiscono secondo la ragione diretta delle masse, quante volte per estraneo principio non debbano seguire altra legge. Laonde ogni unità di massa, ogni molecola risentirà l' azione della unità di forza : e per questa ragione a ciascuna forza si addice l'epiteto di *molecolare*. Se non che ve n'à di quelle, che esercitano la loro influenza a distanza finita, ancorchè grande : tale ad esempio è la gravità celeste , che si estende per tutta l'ampiezza del nostro sistema solare, donde non pure i rivolgimenti dei pianeti, ma anche le loro perturbazioni per le attrazioni scambievoli. E ve ne sono poi delle altre, che agiscono solamente a distanze infinitamente piccole a segno , che la loro intensità non è sensibile, fuorchè dentro il raggio delle molecole contigue. A queste ultime si dà propriamente il nome di *forze molecolari*, e se n'enumerano parecchie , e producono interessanti fenomeni, così quando operano da se sole, come in compagnia delle precedenti, e soprattutto della gravità.

98. Attrazione molecolare omogenea ed eterogenea. Le molecole dei corpi si attraggono con una duplice maniera di forza. Imperocchè o quelli rimangono distinti, comunque strettamente riuniti, e la forza cui è dovuta tale unione vien detta con voce speciale *attrazione molecolare* ; o si combinano per modo, che ne venga un composto affatto differente ne' suoi caratteri dagli elementi componenti, e la forza dicesi *attrazione eterogenea*, o *chimica*, o semplicemente *affinità*.

99. Coesione. L'attrazione molecolare si designa coi nomi di *coesione* e di *adesione* secondo le varie circostanze in cui opera.

Vien detta *coesione* la forza , che congiunge le molecole di uno

stesso corpo. Essa dunque opera sopra molecole omogenee semplici o composte della medesima natura del tutto che nasce dalla loro unione, e nelle quali esso si divide per azioni meccaniche. È molto valida ne' corpi solidi, di cui le molecole oppongono considerevole resistenza alle forze che s'impiegano per separarle.

Questa forza è ben altra dall'attrazione universale, poichè le leggi dell'azione di entrambe sono affatto diverse. L'attrazione universale segue la ragione diretta delle masse indipendentemente dalla loro natura, e la inversa dei quadrati delle distanze. Per converso la coesione è varia da corpo a corpo; e dippiù mentre è molto intensa a distanza infinitesima, diviene infinitesima o nulla a distanza finita. E per fermo è necessaria forza uguale per separare un bricciolo da un corpicciuolo o da un masso di mole enorme: ciò dimostra che tutto il rimanente della massa a distanza finita non à influenza sensibile ad attrarre. Inoltre distaccata che sia una scheggia da un pezzo di pietra o di legno, se venga rimessa comunque esattamente al suo posto, se ne divide poi con un semplice tocco una seconda volta: e ciò perchè le molecole non furono collocate a quel minimo di distanza, a cui prima si trovavano.

Veramente con forte pressione si riesce ad aggregare di nuovo le parti, in cui un corpo fosse stato diviso, sino a dare forma compatta e solida ad un corpo ridotto in fina polvere; come si usa col *coke* che prende apparenza di *pani*, e col platino che dallo stato di *spugna* passa a densità cotanto considerevole. La forza che produce questi effetti potrebbe chiamarsi forza di *aggregazione*.

Anche ne' liquidi à luogo la coesione, e possiamo dimostrarne la esistenza e determinarne anche il valore con la seguente esperienza. All'asta di una bilancia sospesa da un lato una lamina piana di cristallo, ed equilibratala con pesi le si avvicini poi a contatto acqua o altro liquido di tale natura che la bagni. Per distaccarnelo fa d'uopo di pesi nell'altro piatto; ma essi misurano non l'adesione tra solido e liquido, sibbene la coesione tra le molecole del liquido; poichè queste si distaccano tra loro, e non già il liquido dal solido, il quale sempre ne rimane bagnato. Si rifletta inoltre, che se si cambia la superficie solida purchè sia atta a bagnarsi, ed il liquido resti il medesimo, e non variino le altre condizioni dell'esperienza, farà sempre bisogno dell' istesso peso per produrre la separazione. Per converso sarà necessario un peso differente impiegando diversi liquidi, sebbene resti la lamina solida. Gay-Lussac ponen-

do a contatto un disco di vetro di presso a 120 millimetri di diametro con diversi liquidi, alla temperatura di 8°, ebbe bisogno per distaccarlo di pesi che sono indicati nel seguente quadro:

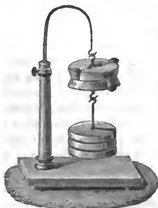
Liquidi	*loro densità*	*peso richiesto*	*al distacco*
Acqua	1,0000	grammi	59,40
Alcole	0,9415		37,15
Idem	0,8196		31,08
Essenza di terebintina	0,8695		34,10.

Ne' fluidi aeriformi non v'è coesione sensibile.

100. **Adesione.** Si chiama *adesione* la forza, con la quale corpi distinti messi a contatto si tengono uniti. À luogo in prima tra corpi solidi. Infatti si abbiano due lamine di cristallo o di qualsiasi altra materia ben levigate, e strisciandole l'una sull' altra (fig. 58) per cacciarne l' aria che potrebbe altrimenti rimanervi, si facciano combaciare; aderiranno sì fortemente che per distaccarle sarà necessaria una considerevole forza.


Fig. 58.

Questa deve essere applicata normalmente alle superficie stesse, p. e. con sospendere una delle lamine per un gancio nel suo mezzo e con applicare un peso all' altra (fig. 59); chè solo a questo modo si può valutare lo sforzo necessario per superare a un tempo l' adesione di tutti gli elementi delle due lamine. Una forza obbliqua che facesse strisciare una lamina sull' altra ne staccherebbe solo una parte ad ogni istante; e dippiù sarebbe coadiuvata nel suo effetto dalla stessa adesione, poichè i punti delle due lamine si separerebbero per congiungersi a quelli che seguono. Si riesce meglio covrendo le due superficie d' un leggierissimo strato di umidità; forse perchè


Fig. 59.

riempiti i pori cresce il numero dei punti di contatto. L' adesione è nella ragione dell'ampiezza della superficie, ed è maggiore secondo che il contatto è più prolungato.

Per dare un saggio della intensità di questa forza, si legge nella *Filosofia Britannica* che Martin tolse un segmento a due palle di piombo, e rendutene lisce oltremode le sezioni piane, che furono di presso a 1/3 di pollice quadrato, le pose a contatto, e fortemente le compresse: aderirono a segno che non fu possibile disgiungerle col peso di 150 libbre.

Aderisce anche un solido ad un liquido. Infatti sebbene il peso necessario per distaccare una lamina solida da un liquido che la bagna misuri la coesione tra le particelle liquide, pure siccome piuttosto queste tra loro si separano e non il solido dal liquido se ne argomenta, che oltre un tale limite deve essere l'adesione tra solido e liquido. La esperienza diretta può eseguirsi quando il solido non rimane bagnato. Gay-Lussac per distaccare il suo disco di vetro da un bagno di mercurio ebbe bisogno del peso di 300 grammi.

Aderiscono pure differenti liquidi tra loro. Così due gocce di olio e di acqua si tengono insieme mentre una di esse è attaccata a un solido. In questo caso l' adesione tra i due liquidi vince lo sforzo della gravità, che farebbe cadere la goccia inferiore; l'adesione poi dell'altra goccia al solido vince il peso di entrambe.

Da ultimo aderiscono i fluidi aeriformi ai solidi ed ai liquidi. Sotto un liquido versato in uno scodellino, rimane uno strato sottile di aria come pure tra più liquidi non atti a mescersi versati uno sull' altro. Quest' aria si rende sensibile quando viene riscaldata, conformandosi in bollicine di diametro sempre maggiore, finchè la sua tensione, ch'è funzione della temperatura, vinca l'adesione pel solido o pel liquido, ed allora se ne stacca ed ascende.

Dalle due forze di adesione tra solido e liquido, e di coesione tra le molecole liquide dipendono i fenomeni della capillarità, de' quali in seguito tratteremo.

101. **Affinità.** La forza che unisce le molecole eterogenee nella formazione de' corpi composti è del tutto diversa non solo dall'attrazione universale, ma pure dalla coesione e dall' adesione. Ce 'l dimostrano le differenze che si osservano da corpo a corpo, le condizioni richieste alla sua azione, le leggi secondo cui opera, gli effetti che produce. Occupiamocene brevemente.

1. *L'affinità è diversa tra vari corpi.* L' oro ed il platino ànno sì

debole affinità per l' ossigeno, che mai non si combinano ad esso *direttamente;* e noi caviamo di sotterra monete d'oro antiche dopo molti secoli, come se ieri fossero uscite dal conio. Al contrario il potassio, il sodio, il calcio.... la posseggono intensissima: per appropriarsi l' ossigeno il tolgono a qualunque composto. Inoltre se sciolgasi un sale in acqua, e poi immergasi nella soluzione un metallo, che abbia potere *elettro-positivo* maggiore di quello ch' è radicale della base del sale; il primo sale si scompone e se ne forma un secondo. Ad esempio introducendo una lamina di zinco nella soluzione di acetato di piombo, parte di questo sale si scompone, si produce acetato di zinco, ed il piombo precipitando sullo zinco residuo costituisce il così detto *albero di saturno.*Ugualmente sul ferro precipita il rame, e sul rame l'argento.

2. *La rapidità della combinazione è in ragione del numero de' punti di contatto.* Laonde perchè più intimo è il contatto quando i corpi ànno stato liquido o aeriforme, o sono ridotti in polvere, anche più intenso o più pronto è il loro combinarsi. Una verga di ferro per cangiarsi tutta in ruggine (*idrato di sesquiossido di ferro*) deve stare a lungo in aria umida, assai meno se riducasi in limatura, e si accende di presente a contatto dell'aria se mercè l'idrogeno venga ridotto il ferro in finissima polvere dal cloruro o dall'ossido,nel quale stato il ferro à il nome di *piroforico.* Per ciò gli antichi opinarono che la mancanza di stato solido fosse condizione indispensabile all'affinità, e proclamarono che *corpora non agunt nisi soluta;* ma persuade del contrario il vedere, che fosforo e iodo entrambi solidi in quel che si toccano si combinano con viva combustione, che cloruro d'ammonio e calce triturati svolgono piccante odore d'ammoniaca, e mille somiglianti reazioni.

3. *Il combinarsi de' corpi è funzione della temperatura.* Imperciocchè in generale vi è un minimo di temperatura, al di sotto del quale i corpi non si compongono. Infatti tra alcuni agisce l'affinità a freddo, tra gli altri a caldo. E quindi per determinare i combustibili semplici o composti a bruciare sogliamo appressare un corpo acceso,o facciamo uso di altro argomento atto a sviluppare calore, come della scintilla elettrica, de' mezzi meccanici, triturazione, percossa e simili: ad esempio triturando in un mortaio solfo e clorato di potassa detonano.V'à dippiù: talvolta combinandosi due corpi a differenti temperature danno prodotti diversi: come dal fosforo si ottiene acido fosforoso o fosforico secondo che si unisce coll'ossigeno a temperatura inferiore o superiore a 60°.

4. *Effetto costante della combinazione chimica è lo svolgimento di calore.* Valga ad esempio il riscaldamento che si ottiene mescolando acqua a calce o ad acido solforico. Da ciò si comprende perchè determinata una volta con un corpo acceso la combustione, essa continua da se: il calore svolto dalla combustione, è non pure sufficiente per compiere la condizione richiesta (3) alla combinazione del combustibile residuo con l'ossigeno, ma ne è di molto maggiore. Di quì s'intende come un soffio troppo violento spegne la fiamma d'una candela, perchè scaccia via i fluidi aeriformi incandescenti che la costituiscono pria che abbian potuto riscaldare a sufficienza il combustibile contiguo a segno da poter continuare a bruciare; e per converso più attiva si rende la combustione di una massa incandescente, ad esempio di carboni, quanto più veemente è la corrente d'aria o d'ossigeno che le si spinge contro e l'alimenta.

5. *Proporzioni secondo cui i corpi si combinano.* I corpi si mescolano o si compongono meccanicamente in ogni proporzione; così due polveri o due liquidi, sia qualunque l'eccesso di uno sull'altro. Non è così quando si tratta di combinazioni chimiche, le quali avvengono secondo determinate leggi, e sono le seguenti.

1.ª *I vari corpi si combinano in proporzioni determinate e costanti in peso, differenti secondo la loro natura.* Così 100 parti in peso di ossigeno si uniscono a

12,5 idrogeno, 75 carbonio, 443,2 cloro

per formare acqua, ossido di carbonio, acido ipocloroso. Se uno de' due elementi supera quella relazione, l' eccesso non entra in combinazione: questa legge vien detta delle *proporzioni definite.*

2.ª *Le proporzioni, secondo cui i differenti corpi semplici si combinano a determinata quantità di uno di essi, sono quelle medesime in cui si uniscono tra loro per formare le differenti serie di corpi composti.* Infatti a 12,5 idrogeno si combinano 75 carbonio, e 443,2 cloro, e ne nascono protocarburo d' idrogeno, ed acido cloridrico. Per la quale ragione quelle quantità rispettive de' vari corpi sono dette *equivalenti chimici.*

3.ª *Legge delle proporzioni multiple.* Se due corpi semplici si combinano in più proporzioni per dare origine a diversi corpi composti, essendo costante la quantità in peso di uno di essi, i pesi dell'altro saranno espressi da numeri semplicissimi 1, 2, 3, 5, 7. Così 175 parti di azoto si uniscono non solo a 100 di ossigeno per dare il protossido, ma anco a 200, 300, 400, 500, e si ànno il deutossido, e gli acidi azotoso, ipoazotico, azotico.

6. *Effetto della chimica composizione è sovente il cambiamento delle proprietà fisiche e chimiche.* Talvolta v'è passaggio da uno stato fisico ad un altro: infatti ossigeno, idrogeno, azoto, costantemente aeriformi se isolati, costituiscono poi in unione col carbonio tutte le sostanze organizzate. V'è cambiamento di colore, di odore, di sapore : il solfo giallo cedrino dà tutt'i colori ne' solfuri or trasparenti ora opachi, o ne'solfati; ed il mercurio bianco-argentino forma composti neri, rossi, gialli, bianchi. Corpi senza odore e sapore, come i tre gas mentovati, ne compongono altri di odore e sapore piccantissimo. In fine può cangiarsi la maniera di agire sugli esseri animali: arsenico e mercurio sono innocui, e l' ossigeno necessario all'animale economia, mentre i loro composti acido arsenioso ed ossido mercurico riescono deleterî al più alto grado.

102. **Soluzione.** Per una speciale maniera di attrazione alcuni corpi solidi messi in determinati liquidi si congiungono loro sì fattamente da divenire liquidi anch'essi: vi si *sciolgono*; il liquido chiamasi *solvente* , il composto *soluzione*. Tale attrazione è diversa da tutte le altre, e sembra occupare un posto medio tra la coesione, e l'affinità chimica, come apparisce dalle seguenti leggi.

1.ª La quantità in peso di un corpo solido che è sciolta da quantità determinata di liquido non à limite dal lato del minimo, sibbene dal lato del massimo, e questo massimo è differente ma costante per ciascun solido e per ciascun liquido nelle stesse circostanze. Così 100 parti di acqua sciolgono una molecola di sale comune, e ne sciolgono pure quantità successivamente maggiori sino a 35 parti, ma non oltre. Si chiama *satura* una soluzione, in cui si contiene quella quantità massima di solido sciolto. Questo limite è funzione della temperatura: generalmente cresce con essa tranne pochissimi corpi, come il cloruro di sodio, quasi ugualmente solubili in acqua a caldo e a freddo , e la calce con alcuni sali calcarei solubili in maggiore copia a freddo che a caldo. Ma è ben lungi dal variare in eguale proporzione co'cambiamenti di temperatura.

2.ª La soluzione succede tra corpi *analoghi* , a differenza della coesione che à luogo tra molecole omogenee, e dell'adesione che agisce tra molecole omogenee o eterogenee, e dell'affinità chimica tanto più intensa quanto è maggiore l'*antagonismo* tra le proprietà degli elementi. Infatti si sciolgono in acqua i sali e gli altri corpi ricchi di ossigeno, nel mercurio i metalli, nell' alcole e nell' etere le resine, le sostanze grasse, ed in generale i corpi ricchi d'idrogene.

3.ª Indizio di compiuta soluzione è la *trasparenza* del liquido. Stemperando calce in acqua si à un liquido bianco; ma versatolo sopra un filtro ne stilla acqua limpidissima, una soluzione di calce, l'*acqua di calce*; poichè sono trattenute dal filtro tutte le particelle di calce, che non essendosi sciolte restavano sospese nel liquido, e ne turbavano la trasparenza.

Similmente allorchè una soluzione trasparente s'intorbida è segno che qualche sostanza la quale prima era sciolta,si renda insolubile e si separi dal liquido, o come dicesi *precipiti*; poichè di fatto, se quelle molecole sono specificamente più pesanti del liquido solvente, dopo qualche tempo vanno al fondo. Se si fa gorgogliare acido carbonico in soluzione di calce, il liquido da principio biancheggia, e poi di nuovo si rende limpido e senza colore; perchè il carbonato calcico è quasi insolubile nell'acqua pura, ma si scioglie benissimo in acqua carica di acido carbonico.

4.ª I caratteri de'corpi sciolti e de'liquidi solventi restano invariati, tranne la ragione d'intensità, cioè si affievoliscono in proporzione della quantità dell'altro corpo con cui si accoppiano. Ove quei caratteri svanissero, si avrebbe più che una mera soluzione: il corpo solido sarebbe chimicamente combinato al liquido, e questa speciale maniera di unione si dice *dissoluzione* : così argento, rame, ferro, si *disciolgono* nell'acido azotico.

103. **Forza termica opposta alle varie specie della forza di attrazione.** L'azione del calore tende ad allontanare tra loro le molecole de' corpi, e con ciò si oppone alla coesione, all'adesione, alla chimica affinità.

1.° Il calore dilata ogni maniera di corpi, per che ne accresce la mole, ed opera anche la loro trasformazione dallo stato solido in liquido e in vapore.

2.° L'adesione di una lamina solida ad una superficie liquida è in ragione inversa della temperatura. Inoltre collocata una liscia sur un piano inclinato ad angolo variabile ben levigato, si potrà mai sempre trovare una tale inclinazione all'orizzonte che quella per l'attrito vi resti in equilibrio; ma se riscaldatala vi si adagi novellamente, scorrerà sovr'esso per diminuita adesione. Similmente sopra una lamina o sopra un filo metallico si ponga una goccia liquida, e poi da un canto con lampada si riscaldi : si vedrà quella goccia scostarsi dal punto riscaldato verso l'opposto lato, ed anche in direzione contraria alla gravità quando la lamina o il filo fossero inclinati.

3.° Allorchè un elemento d' un corpo composto a stato d' isolamento è aeriforme o comunque altrimenti à tendenza per divenir tale, l'innalzamento di temperatura vince l'affinità, e la combinazione si distrugge. Il carbonato calcico si scompone per calore: l'acido carbonico diviene aeriforme, e si à calce per residuo. Accade il medesimo in quella maniera di doratura che dicesi *a fuoco;* e si esegue ricoprendo un oggetto di amalgama di oro: poi col riscaldamento il mercurio va via in vapore, e quello rimane dorato. Parecchi *ossidi* emettono ossigeno col calore.

STRUTTURA DE' CORPI E CRISTALLIZZAZIONE.

104. **Stato solido e struttura.** È *solido* un corpo allorchè la coesione vince così la forza termica che le molecole si equilibrano a determinate posizioni relative. Di quì il carattere distintivo de'corpi solidi, l' influenza della *orientazione* degli assi delle molecole; e quindi l'avere una forma propria indipendente da quella de'corpi circostanti, cui non cangiano senza opporre resistenza.

Ma le molecole possono riunirsi insieme in modi svariati, donde la diversa *struttura* di un corpo, la quale generalmente si scopre spezzandolo, sebbene talvolta si manifesti pure nella superficie esteriore. Le varie specie di struttura sono le seguenti:

1. *Struttura lamellosa*: ed appartiene ad un corpo formato di laminette piane disposte in tutti i sensi, le quali talvolta si attaccano alle dita, come nell' *oligisto micaceo* e nella *calcite neviforme*;

2. *laminosa*: quella d' un corpo composto da lamine piane parallele; così il *gesso*, la *mica*, lo *spato d'Islanda;*

3. *fibrosa*: ed indica filamenti più o meno sottili, talvolta paralleli come nell'*amianto*, tale altra raggianti da un centro comune, come nell'*arragonite*, e nella *baritina*;

4. *granulare*: se gli aggruppamenti molecolari ànno apparenza di granelli; così nel marmo *saccaroide* o di Carrara;

5. *compatta* finalmente, allorchè gli aggruppamenti molecolari non si discernono ad occhio nudo, ed il corpo presenta un aspetto continuo come nel *calcare litografico*.

105. **Cristallo, condizioni essenziali alla cristallizzazione.** Sovente i corpi inorganici, e talora pure alcuni di origine organica, s'incontrano in forme poliedriche regolari, le quali ricordano i solidi della geometria. Si chiamano allora *cristalli*, o

più italianamente *lapilli*. Nel quarzo fu riconosciuto massimamente questo carattere dalla più rimota antichità, al quale perciò fu dato il nome di *cristallo di rocca* (*) per la sua trasparenza, donde la denominazione a tutti gli altri. Allorchè i corpi non presentano forme regolari sono detti *amorfi* (**).

Or di leggieri s'intende che le molecole per ubbidire alla forza di *cristallizzazione* che le determina ad aggrupparsi in una maniera regolare, debbano essere libere al moto, e scevre dall'imperio di altre forze intense; adunque il corpo non deve essere solido, ma o liquido o aeriforme. Liquido può diventare in due modi, o per soluzione, o per fusione; cioè o per azione di un solvente, o in virtù del calore; aeriforme solamente per forza di calore. Laonde *cristallizzerà* nel riprendere lo stato solido allorchè si sottrae il solvente, o la temperatura si abbassa. E però in tre modi può avvenire la cristallizzazione: per *soluzione*, per *fusione*, per *sublimazione*. Dalla maniera come noi operiamo ne' nostri laboratorî le cristallizzazioni artificiali ci lice argomentare il meraviglioso magistero della natura in produrre i tanti cristalli, che s'incontrano nelle diverse generazioni di terreni.

Esempi 1.° *Cristallizzazione per soluzione*. Operata la soluzione si sottrae il solvente o abbandonandola a lenta evaporazione, o esponendola a dolce calore, come in una stufa. Dalla soluzione acquosa il sal comune cristallizza in cubi, e l'allume in ottaedri: la soluzione di zolfo nel solfuro di carbonio dà cristalli rombottaedrici. O pure, si prepara la soluzione a caldo, se così i corpi sono più solubili, e si ànno i cristalli col raffreddamento: a questo modo il nitro cristallizza in prismi.

2.° *per fusione*. Fuso del solfo in vase di terra allorchè cominciato il raffreddamento si è formata una crosta superficiale, per un foro praticato in essa si decanti tutto il solfo ancora liquido. Se allora si toglie via quella crosta si troverà la sua faccia interna e la parete del vase tapezzata di cristalli prismatici. Somigliantemente si à la cristallizzazione del bismuto.

3.° *per sublimazione*. Poni iodo, o arsenico, o canfora in un matraccio a collo lungo, e riscaldalo inferiormente: quelle sostanze diventano vaporose, e poi raffreddatesi cristallizzano nell' alto del vase. A questo modo si producono tutte le cristallizzazioni, che noi

(*) Dalla voce greca χρύσταλλος che significa *ghiaccio*.

(**) Da α e μορφη figura.

ammiriamo nell'interno de'crateri vulcanici, o nelle fenditure delle lave già fluite in atto di raffreddarsi.

Eccezioni. In alcuni casi le leggi delle attrazioni molecolari sotto la influenza di agenti meccanici o fisici restano modificate sì fattamente, che un corpo solido senza passare allo stato liquido o aeriforme prende struttura cristallina che prima non avea, o ne assume un'altra del tutto differente. Ad esempio gli assi o le aste degli stantuffi nelle macchine a vapore, che sono di ferro forgiato a struttura compatta, coll'uso acquistano struttura cristallina, la quale si rende evidente nella frattura, e sovente ne è pure la cagione.

106. Circostanze che accompagnano la cristallizzazione. Sono importanti le osservazioni seguenti.

1.° Talvolta una soluzione diventa *soprassatura* o per evaporazione del solvente o per abbassamento di temperatura, e pure non si à cristallizzazione, perchè le molecole attraendosi ugualmente da opposte bande si rimangono in equilibrio. Allora se si fa cadere nel liquido un bricciolo della sostanza sciolta o di altro corpo solido qualunque, sovr'esso si depositano i cristalli. Così introdotti in una soluzione di allume o di zucchero o di solfato di rame degli scheletri di varie forme con fili di ferro, questi rivestonsi graziosamente di cristallini bianchi splendenti o azzurri.

2.° Più voluminosi si ànno i cristalli allorchè la soluzione è abbondante e costantemente satura. Quindi il metodo di Leblanc di *nutrire i cristalli*, il quale consiste nel trasferire un primo cristallo già formato in altra soluzione satura, e così successivamente. Influisce pure la forma del vaso: se è alto e stretto si ottengono cristalli più grossi, che se basso e largo.

3.° Lenta evaporazione e mancanza di moto contribuiscono alla purezza della forma. Basta a dimostrarlo lo *zucchero candito*; mentre per difetto di quelle condizioni si ànno i cristalli imperfetti e variamente accozzati dello *zucchero in pane*.

4.° Da ultimo influiscono a cambiare anche la forma de' cristalli la temperatura della soluzione, la natura del solvente, e le materie straniere che fossero ad esso mescolate.

107. Elementi de' cristalli, goniometri, e legge di simmetria. In ogni cristallo convien considerare le *facce*, gli *spigoli* e gli *angoli solidi*, le quali cose costituiscono i suoi *elementi*.

Le *facce* sono sempre piane, ed in generale due a due parallele. La eccezione è apparente, se talvolta si osserva il cristallo termi-

nato da superficie curva, poichè questa nasce dall' accozzamento di piccolissime faccette piane in gran numero come nel diamante (fig. 60); o pure è dovuta a fusione per calore posteriore alla formazione del cristallo.

Gli *spigoli* sono angoli diedri, sotto cui s'incontrano due facce; e gli *angoli solidi* sono formati dall'incontro di più che due facce. Gli spigoli e gli angoli de'cristalli sono sempre sporgenti, non mai rien-



Fig. 60.



Fig. 61.

tranti; il cristallo, nel quale si osserva il contrario, non è semplice, ma è un aggruppamento di due cristalli, e diconsi *gemelli*. Specioso esempio di *geminazione* (fig. 61) si à nella *staurotide* (silicato di allumina e di ferro), e nell'*augite*.

I *goniometri* (*) sono strumenti destinati alla misura degli angoli dei cristalli. Il goniometro di *applicazione*, detto di Hauy, si compone di due pezzi, cioè di una specie di compasso, e d'un semicerchio graduato. Le due aste del compasso si adattano a perfetto combaciamento con le facce del cristallo, e il semicerchio dà il valore dell'angolo. Ma ve n'à di altri più squisiti detti *a riflessione*, che descriveremo trattando della luce.

Mercè le misure goniometriche sono stati scoverti i seguenti due fatti importanti:

1.° Gli elementi di ogni cristallo sono disposti con simmetria intorno ad alcune rette chiamate *assi*, che s' intendono passare pel centro del cristallo, e vanno a terminare a due angoli opposti, o pure al centro di due facce opposte o di due spigoli opposti.

2.° Si osserva anche la seguente *legge di simmetria:*

« *In ogni cristallo gli elementi della medesima specie sono modificati ugualmente, e per converso gli elementi di specie diversa sono inegualmente modificati.* »

Diconsi elementi della *medesima specie* due facce, due spigoli, due angoli solidi uguali e similmente disposti. Così tutti gli angoli d'un

(*) Dal greco γωνία angolo.

cubo sono della medesima specie, perchè uguali e collocati all' incontro di piani che formano angoli uguali; e per l'opposto i quattro spigoli laterali d'un prisma romboedrico, quantunque uguali, sono di specie differente, perchè due di essi si trovano all' incontro di piani che contengono angolo acuto, e due all'incontro di piani che contengono angolo ottuso. Per *modificazione* poi s'intende la sostituzione di una o più faccette ad uno spigolo o ad un vertice di angolo solido; e secondo che queste faccette sono *ugualmente* o *inegualmente* inclinate sulle facce laterali del cristallo la modificazione vien detta *uguale* o *inuguale*.

108. **Costanza delle forme cristalline, clivaggio, forme primitive e secondarie, molecola integrante.** Una medesima sostanza può presentarsi in molteplici forme cristalline; ma queste sono costantemente le medesime, e differenti da quelle degli altri corpi. Hauy vide tal nesso tra le varie forme di uno stesso minerale che da una di esse nascessero tutte le altre; chiamò *primitiva* la prima, *secondarie* le rimanenti. Infatti sulle facce di un cristallo di *calcite* si osservano delle strie parallele: secondo esse il cristallo facilmente si divide o con introdurvi il filo di un coltello, o con la percossa; e distaccandone successivamente delle lamine si giunge ad un *nucleo*, il quale è sempre il medesimo, un prisma romboedrico, su qualunque forma di calcite si operi. Nelle altre specie minerali sono più o meno spiccati i piani di facile divisione o sfaldamento, i quali costituiscono il così detto *clivaggio*. Hauy chiamò quel nucleo *forma primitiva*, ed opinò che soprapponendosi ad essa con varie leggi gli strati de' gruppi molecolari si producessero le *forme secondarie*. Se gli ordini di questi strati sono sempre paralleli alle facce della forma primitiva, questa cresce solamente di mole, ma non cambia di figura. Ciascun gruppo molecolare costituisce la *molecola integrante*. Nella calcite la forma primitiva e la molecola integrante sono le stesse: ma generalmente sono differenti.

109. **Sistemi cristallini.** Le discorse cose, comecchè sommamente attraenti per la loro eleganza, ànno però non poco dello ipotetico. Positivo e niente arbitrario è il fatto dei *sistemi cristallini*. Le forme, cui può assumere uno stesso corpo, comunque in apparenza differentissime, son rette dalle medesime leggi, secondo cui le molecole si accozzano in comporlo. E perciò una di esse può trasformarsi in un'altra, anzi possono coesistere nello stesso cri-

stallo. Valga ad esempio il cubo (fig. 62), il quale per *troncature* sempre più profonde operate su i vertici degli angoli solidi prende le forme de' numeri 2, 3, 4, e finalmente passa all'ottaedro 5; nelle intermedie 2, 3, 4 coesistono le facce del cubo *cccc*, e quelle

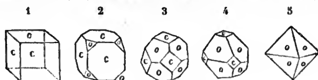


Fig. 62.

dell' ottaedro *oooo*. Ciò posto, il gruppo di tutte le forme rette a questo modo dalle stesse leggi e compatibili insieme vien detto *sistema cristallino:* le leggi son tolte dagli assi secondo il loro numero, grandezza relativa, ed inclinazione scambievole. La natura ci à rivelato sei sistemi cristallini, cui si è dato il nome dalla forma più semplice che in essi è contenuta, ed è sempre un prisma. Questa prima si domanda *forma fondamentale*, *secondarie* le altre.

Ecco i nomi de' varî sistemi, i caratteri degli assi, e qualche esempio scelto tra le specie mineralogiche più volgari.

1.° Sistema del *cubo.* Tre assi uguali intersecantisi ad angoli retti. Forme secondarie: l'ottaedro, il rombododecaedro, il cubo piramidato, l'ottaedro piramidato, il trapezoedro, ecc. Cristallizzano in questo sistema il salmarino, l'allume, la pirite, il diamante, il granato, ed in generale la più parte dei metalli.

2.° Sistema del *prisma a base quadrata.* Tre assi, due uguali, il terzo ineguale, che si tagliano ad angoli retti. La cassiterite, il circone, l'idocrasia, la sarcolite.

3.° Sistema del *prisma rettangolare.* Tre assi ineguali che s' incontrano ad angoli retti. Solfo, nitro, baritina, celestina, staurotide, topazio, orpimento, arragonidi.

4.° Sistema del *prisma monoclino.* Tre assi ineguali, con due intersezioni ad angoli retti ed una ad angoli obbliqui. Gesso, borace, realgar, malachite, azzurrite, pirosseno, zucchero.

5.° Sistema del *prisma triclino.* Tre assi disuguali con intersezioni ad angoli obbliqui. Labradoro, ascianite, disteno, albite.

6.° Sistema del *prisma esagonale.* Quattro assi: tre uguali si tagliano ad angoli di 120° e 60°, il quarto disuguale incontra i primi ad angoli retti. Smeraldo, quarzo, oligisto, cinabro, talco, corundo.

110. Isomorfismo, dimorfismo. Secondo la legge di Hauy i minerali di composizione chimica differente cristallizzano o in sistemi diversi, o con diverso valore di angoli. Parve dapprima una eccezione il fatto dell'*isomorfismo* scoperto da Mitscherlich. Questi riconobbe che alcuni corpi formati da elementi differenti, de'quali neanco il peso è il medesimo, presentano la stessa forma cristallina, e che questa neppure rimane alterata col sostituirsi l'un l'altro in varie proporzioni; ei li chiamò *isomorfi*. Ma tra quelli elementi deve esistere un rapporto identico, la medesima relazione atomica; cosicchè rientrano nella legge di Hauy, e van considerati come aventi la stessa maniera di composizione chimica.

Per converso il *dimorfismo* è tal carattere per cui un corpo serbando la stessa composizione chimica, cristallizza pure con forme incompatibili, e però appartenenti a due sistemi differenti. Il carbonato di calce somministra l'esempio più anticamente conosciuto di dimorfismo; la *calcite* cristallizza nel sistema romboedrico, l'*arragonite* in quello del prisma rettangolare. Ma le sostanze *dimorfe* ànno diversi caratteri fisici; e la influenza delle circostanze determina queste varie leggi di cristallizzazione : ad alta temperatura si à l'arragonite, a minor calore la calcite. Così il solfo per soluzione o per sublimazione cristallizza come il naturale nel sistema del prisma rettangolare, e per fusione in quello del prisma monoclino.

PROPRIETÀ PARTICOLARI DE' SOLIDI DIPENDENTI DALLA FORZA DI COESIONE.

111. Rigidezza. La resistenza, che per la coesione le molecole de' solidi oppongono alle forze tendenti a disgiungerle, è differente secondo la maniera con cui queste agiscono. I modi di cimentare la coesione sono a vero dire molteplici; ma sembra che possano convenientemente ridursi a quattro, cioè *flessione*, *distensione*, *intaccamento* e *compressione* o *percossa*. A norma del vario grado di resistenza da' corpi opposta si distinguono quattro proprietà la *rigidezza*, la *tenacità*, la *durezza* e la *consistenza*.

La *rigidezza* o *inflessibilità* è la resistenza all'incurvamento, la quale sovente giunge a tale, che molti corpi *rigidi* si spezzano anzi che piegarsi. Utilissimi riescono anche per questo carattere i legni, che sorreggono le soffitte, e tra i metalli il ferro ed il bronzo. Al contrario fra i corpi *flessibili* ve n' à, che si piegano in mille

guise senza lesione di sorta; così i fili di metallo, di cotone, di seta, di lana, di canape. Un singolare esempio di flessibilità ci si presenta dalla *itacolumite*, roccia quarzosa del Brasile, detta perciò *arenaria flessibile*. Era pur nota agli antichi la flessibilità de' fili dilicatissimi di *asbesto* o *amianto*, per che ne tessevano tele a bruciarvi i cadaveri, ed ora se ne compongono abiti incombustibili. Il vetro fuso si riduce a fili tenuissimi, de' quali si formano pennelli inattaccabili dagli acidi, e financo tessuti imitanti assai bene per colore e lucentezza i broccati di oro e di argento.

112. **Tenacità.** Si sperimenta la tenacità relativa con ridurre i corpi in fili delle stesse dimensioni, e con applicare ad una estremità de'pesi, mentre l'altra è fermata ad un punto fisso: la tenacità sarà espressa dalle unità di peso necessarie a spezzarli. Muschenbroek legava un estremo del filo all'asta d'una stadera, ed allontanava il marco sino a produrre la rottura.

In generale ad uguaglianza di massa la tenacità varia con la forma de' corpi. Infatti a sezioni equivalenti un cilindro è più tenace di un prisma; e ad uguaglianza di materia il cilindro vuoto più che il pieno: si à il massimo di tenacità quando il raggio esterno è all' interno nella ragione di 11:5. Inoltre operando a lungo può la forza di trazione affievolire la tenacità, ed un filo si spezza per un peso minore del necessario a romperlo d' un solo colpo.

Ecco un saggio delle tenacità rappresentate dai chilogrammi richiesti a spezzare corpi aventi sezione di 1 millimetro quadrato.

Ferro	in fili	60 a 90	Acciaio in verghe	30 a 40
	in verghe	30 a 60	Ottone in fili	40 a 70
	in lamine	36 a 41	Ottone fuso	13
	fuso	7 a 14	Bronzo da cannoni	18 a 33
Rame	rosso	43 a 70	Stagno fuso	3
	ricotto	21 a 25	Piombo	1,3
	battuto	25	Vetro	2,5
	laminato	21	Legno di quercia	6,5 a 9,8
	fuso	13	Corde	5 a 6

Per l'ordinario una lega è più tenace de'metalli che la compongono. Inoltre uno stesso metallo à tenacità differente secondo le operazioni cui fu sottoposto; in generale se è fuso è meno tenace che dopo aver sofferto l'azione della filiera, del laminatoio, o del martello. Diminuisce pure la tenacità coll'aumento della temperatura: infatti per rompere un filo di ferro si richieggono

chilogrammi 60 a 10°, 54 a 370°, 35 a 500°.

Nei legni la tenacità varia secondo la specie e le condizioni di ve-

getazione. In una stessa specie e a pari sezione è maggiore nel senso delle fibre che trasversalmente: è pure minima nel midollo, e va crescendo secondo che le fibre più si allontanano da quello: ma fino ad un certo limite, oltre il quale di nuovo diminuisce.

La tenacità delle funi è tanto maggiore quanto meno furono attorte oltre quanto è necessario per tenere insieme i fili. Anzi Duhamel osserva, che se in cambio di torcerle sino a scorciarle d'un terzo come si usa, si accorciassero solamente d' un quarto, la tenacità si accrescerebbe nella ragione di 2 a 3.

É bello osservare che ne'fili, cui la natura ci presenta nel regno animale, la tenacità relativa è tanto maggiore quanto è minore la sezione; così ne'capelli, ne'crini, ne'fili di ragno o di seta; quasi fossero lavorati con maggiore accuratezza.

113. **Durezza.** È la resistenza alla scalfitura; la quale proprietà non va confusa con altre, cui pure men rettamente si dà lo stesso nome. La durezza è relativa: di due corpi l'uno è più *duro* dell' altro se lo intacca, lo raschia. I duri mal si prestano ad essere lavorati, ma ànno pure il pregio di conservare il pulimento, e di essere adatti a lavorare gli altri più teneri: il più duro è il diamante, poichè li solca tutti senza essere raschiato da alcuno; per che non può essere lavorato fuorchè con la sua medesima polvere: gli antichi l'usarono quale si rinviene in natura, per avere ignorato l'arte di lavorarlo scoperta solo nel 1576 da Luigi Berquem di Bruges. Dopo il diamante vengono il rubino, lo smeraldo, il saffiro, quindi le altre *pietre dure*, e fra esse il quarzo con le sue varietà, la pietra focaia, l'agata, la corniola, il diaspro ecc.

Il carattere della durezza è prezioso in mineralogia per distinguere talvolta le specie senza ricorrere a saggi chimici. Chiamano propriamente *duro* un minerale, che non è scalfito dal coltello; se lo è, *semiduro*; *tenero*, se anche dall' unghia. Mohs à formato la seguente scala di dieci termini scelti fra i minerali più comuni; progrediscono per ordine di durezza: ciascuno intacca i precedenti, ed è intaccato da quelli che seguono.

1. Talco lamelloso	6. Feldspato lamelloso
2. Gesso laminoso	7. Quarzo ialino
3. Calcite (carbonato calcico)	8. Topazio
4. Fluorina (fluoruro di calcio)	9. Corindo ialino
5. Apatite (fosfato calcico)	10. Diamante.

Questa proprietà dipende non solo dalla natura, ma anche dalla

disposizione delle molecole. Infatti nello stesso minerale le varietà cristallizzate sono in generale più dure di quelle a struttura confusa. Inoltre le tante varietà di calce carbonata sono differentemente dure, ma le polveri di tutte esse sono ugualmente atte a pulire uno stesso corpo. Da ultimo le sostanze dimorfe ànno durezze differenti: così l'arragonite è più dura della calcite.

114. Consistenza. È la virtù di resistere alla compressione o alla percossa, perchè non venga modificata o distrutta l'aggregazione molecolare.

I corpi, per mancanza di consistenza, dividonsi in due classi a norma del come si comportano sotto l'azione delle forze esterne.

1.° Se unicamente si altera la posizione relativa delle molecole si distinguono in *molli*, *malleabili* e *duttili*.

Sono detti *molli* quelli, che cedendo a leggiera pressione s'incavano come la cera, il burro, l'argilla bagnata.

Si domandano *malleabili* se sotto il martello si riducono in lamine. La *malleabilità* può anche sperimentarsi col *laminatoio*, che consiste in due cilindri di acciaio ad assi paralleli, e volgentisi in senso contrario. Collocandoli a distanze successivamente minori, ed obbligando un corpo a passare replicate volte tra essi, si riesce a ridurlo in lamine assai sottili.

Diconsi *duttili* allorchè distendonsi in fili tirandoli per *trafila* o *filiera*; che è una lamina di acciaio, o meglio di pietra dura, nella quale sono praticati de'fori distribuiti per ordine con diametri sempre più piccoli.

2.° Può anche cessare del tutto per difetto di consistenza la coesione tra le molecole, e queste si distaccano. Nel quale caso i corpi si dicono *friabili* se riduconsi in polvere, come avviene alla *dolomite* vesuviana; o pure *fragili*, allorchè sotto la pressione o la percossa si scindono in pezzi di svariata dimensione: così il vetro.

115. Osservazioni spettanti alle differenze di queste proprietà. Quanto sia complessa e oscura l'azione intima tra le molecole de'corpi il dimostrano le osservazioni seguenti.

1.° *Il grado di rigidezza, tenacità, durezza e consistenza può esser differente nel medesimo corpo.* In generale i corpi più duri sono anche fragilissimi; così il vetro e le pietre dure: il diamante si riduce in briccioli con la percossa. Inoltre i metalli sono differentemente consistenti sperimentandoli al martello, al laminatoio, alla trafila. Eccone un saggio nell'ordine diverso, secondo cui so-

no distribuiti otto de'più comuni, giusta la facilità di ridursi a lamina o filo più sottile senza spezzarsi:

col martello..... piombo, stagno, oro, zinco, argento, rame, platino, ferro;
col laminatoio.. oro, argento, rame, stagno, piombo, zinco, platino, ferro;
colla filiera.......platino, argento, ferro, rame, oro, zinco, stagno, piombo.

2.° *Influenza della temperatura.* Le discorse proprietà sono funzione della temperatura, ma in modo assai diverso. In primo luogo alcuni corpi ne posseggono l'una piuttosto che l'altra e variamente a differente grado di calore. Così le resine ed il vetro fragilissimi a freddo e sommamente duttili a caldo. Lo zinco è cedevole al laminatoio da 100 a 200 gradi: a più bassa o più alta temperatura è fragile per cotal modo da potersi ridurre in polvere in un mortaio.

Inoltre si sa che l'azione del martello, del laminatoio, della filiera rende i metalli *crudi*, cioè tali che si fendono o si spezzano quando si vuol proseguire a ridurli in fili o in lamine sottili. Ma se allora riscaldansi sino all'arroventamento, e poi si fanno raffreddare con lentezza, riacquistano il primitivo grado di cedevolezza.

Sono singolari gli effetti, che produce in alcuni corpi il passaggio subitaneo o lento da una temperatura ad un'altra. Basterà ricordare il solfo, il vetro e l'acciaio.

Il solfo fuso e poi lentamente raffreddato diviene fragile, com'è naturalmente; ma se fuso e riscaldato anche più sino a 160° si versi in acqua fredda, rimane molle e si presta bene a prendere le impronte degli oggetti contro cui venga premuto: ritiene questa virtù alquanti giorni, e per gradi ritorna fragile.

Il vetro fuso allorchè con rapidità si raffredda acquista in sommo grado durezza insieme e fragilità. Se si lascia cadere in acqua fredda una goccia di vetro fuso, si ottiene la così detta *lagrima batavica* (fig. 63), la quale è abbastanza consistente in modo da sostenere discreti colpi di percossa; ma se tenendola stretta fra le dita si spezzi la estremità acuminata, si ridurrà tutta di presente in minuta polvere. È agevole spiegare un tal fatto. Il vetro alla temperatura della fusione à maggior volume che solido; ma quando fuso si versa in acqua fredda, lo strato esterno divien solido

e freddo pria che il nucleo siasi ristretto abbastanza, e le molecole si dispongono in una maniera di equilibrio violento ed instabile, turbato il quale col separarsi di alcune molecole, tutte le altre d'un colpo si staccano. Questo frangersi accade con tale intensità che Bellani discoprì ridursi in minuzzoli con istrepito

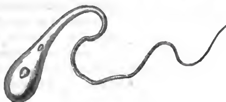


Fig. 63.

un bicchiere, nell'acqua del quale si tengono immerse le dita e la lagrima nell'atto di spezzarla. Somigliante è la spiegazione della strana fragilità delle *bottiglie di Bologna*, che sono fiaschetti di vetro raffreddati con esporli all'ambiente appena soffiati: percuotendoli leggermente all'esterno resistono; ma se cade nell'interno un bricciolo di qualunque corpo duro capace d'intaccarli con uno spigolo acuminato, non reggono e frangonsi. Quindi il tenere a lungo nelle stufe gli oggetti di vetro dopo che furono soffiati, soprattutto quando non ànno la stessa spessezza nelle loro parti; senza che sono fragilissimi anche non tocchi ad un lieve cambiamento di temperatura.

L'acciaio anch'esso acquista in uno durezza e fragilità per mezzo della *tempera*, la quale consiste nell'immergerlo rovente nell'acqua fredda; ed è più o meno forte nella ragione composta del grado di calore, e della rapidità del raffreddamento. Un bagno di mercurio gelato produrrebbe un effetto estremamente grande. Si toglie all'intutto la tempra, o si modera se fu troppo dura, con riscaldarlo di nuovo sino ad un certo punto, per farlo raffreddare poi con lentezza ; ciò facendo si attenua la tempera o si rende tanto più dolce a quanto più elevata temperatura si porta l'acciaio; e si argomenta dal vario colore che prende quanto più si alza, giallo paglia, rosso di porpora, turchino violetto, turchino, turchino chiaro color d'acqua. Comunemente si ragiona dell'acciaio come pel vetro, poichè anch'esso col calore si dilata. Ma non può dirsi altrettanto di quella lega formata di quattro parti di rame e una di stagno, di che si compongono i cembali e gli strumenti cinesi detti *tamtam*, la quale è più dura e fragile se lentamente si raffredda, e se bruscamente acquista proprietà opposte.

3.° *Scintillazione con la percossa.* Il trarre scintille dall'acciarino percotendolo con la pietra focaia è riposto nel distaccarsi da quel-

lo delle minute particelle, che arroventate pel calore sviluppato dalla percossa si combinano con l'ossigeno dell'atmosfera e si trasformano in ferro magnetico. Due caratteri sono necessarî a produrlo, durezza e consistenza: e ne sono fornite la pietra focaia, le piriti, e le rocce amfiboliche. Senza la prima l'acciarino non sarebbe scheggiato; ove mancasse la seconda, si romperebbe la pietra. Nel diamante v'è difetto di consistenza, nelle varietà di quarzo ialino manca invece una sufficiente durezza.

ELASTICITÀ.

116. **Elasticità, sue specie e limite.** Si chiama *elasticità* la proprietà di riprendere la forma o il volume primiero, quando à cessato di agire la forza che ne avea prodotto il cangiamento. Questa forza ne'solidi può essere la *pressione*, la *trazione*, la *inflessione*, e la *torsione:* donde quattro maniere di elasticità. Adunque la elasticità suppone una qualche alterazione nella distribuzione delle molecole sotto l'impero d'una forza; ed al cessare di questa ritornano alle condizioni precedenti; quindi si oppone alla mollezza, alla malleabilità, alla duttilità (114). Un corpo si dice più o meno elastico, secondo che più o men perfettamente fa ritorno al volume o alla forma primitiva, e secondo il grado d'intensità relativamente alla forza perturbatrice. L'avorio, il caoutchouc, l'acciaio temperato, il vetro, i legni sono i solidi più elastici che conosciamo.

Influiscono allo svolgimento della elasticità ed a regolarne il grado non solo la natura del corpo, ma pure le sue dimensioni, e la forma, la direzione e 'l punto di applicazione della forza esterna, e somiglianti circostanze. Inoltre quelle cagioni, che producono alterazione nelle altre proprietà dipendenti dalla coesione, cangiano altresì in generale la elasticità. Così i metalli *crudi* e l'acciaio temprato sono anche più elastici.

Può spiegarsi la origine della forza di elasticità a questo modo. Uno spostamento molecolare vada congiunto con un avvicinamento o allontanamento de'centri di gravità delle molecole. Si supponga inoltre che le forze attrattive e ripulsive sieno due funzioni diverse della distanza, per modo che allontanandosi le molecole diminuisca meno l'attrazione che la ripulsione, ed avvicinandosi la ripulsione cresca meglio che l'attrazione. Questo basta perchè al cessare della forza aggiunta le molecole si riconducano alla pristi-

na distanza. Anzi perchè la forza che si sviluppa è tanto più valida quanto fu maggiore lo spostamento, esse ritornano con moto accelerato, nè si arrestano nella posizione di equilibrio, ma vanno di là e compiono intorno a quel punto oscillazioni *isocrone*.Se non che in generale essendo troppo intensa la forza perturbatrice, e discostate le molecole di là d'un certo *limite*, più non ritornano alle posizioni primitive, ma o compiono oscillazioni intorno ad altri centri, o perdono in tutto la elasticità, o si staccano.

Ragioniamo anche altrimenti. Abbiano le molecole forma poliedrica, ad esempio quella di prisma triangolare. Se una d'esse poggia con una faccia sulle altre molecole, sarà in equilibrio stabile; se poi con uno spigolo, sul quale cada la perpendicolare abbassata dal centro di attrazione, sarà in equilibrio instabile. Laonde quando una forza obbliga le molecole a girare le une sulle altre, se non oltrepassano l'equilibrio instabile, il corpo cessata la forza riprende la sua figura: in caso contrario le molecole si adagiano sulla faccia seguente,passando a nuova condizione di equilibrio stabile, ed il cangiamento di forma è permanente. Sarebbero tre le posizioni successive di equilibrio stabile ed instabile nella ipotesi del prisma triangolare; sarebbero maggiori di numero per un poliedro a più facce, ma men lontani l'uno dall'altro i loro limiti. Se le molecole avesser forma di cilindro o di sfera sarebbero in equilibrio in tutte le posizioni, ed il corpo mancherebbe di elasticità.

117. Elasticità di pressione. La pressione, la percossa, l'urto sfigurano un corpo, il quale, se elastico, al cessare di quelle forze ritorna alla figura primitiva. Tal ritorno è subitaneo così da non osservarsi lo sfiguramento. Ma pure si scopre coll'artifizio seguente. Una sfera tocca un piano in un punto solo: or se ungi di materia grassa una palla di avorio, e lasciandola cadere a perpendicolo sur un piano di marmo ben levigato ti affretti riprenderla nel rimbalzo, vedrai sul piano una macchia circolare tanto più estesa da quanto maggiore altezza cadde la palla; l'ampiezza della macchia indicherà la superficie di contatto tra palla e piano, ossia lo schiacciamento di quella.

Vediam la cagione di questo schiacciamento e quanto restino modificate dalla elasticità le leggi dell'urto de'corpi. Muovansi due sfere A,B (fig. 64) secondo la linea CD nella direzione della freccia, ed avvenga tra esse urto centrale; per che di necessità si richiede che la velocità di A sia maggiore che quella di B. Poi-

chè la comunicazione del moto è successiva (46), le molecole di B incontrate immediatamente da A verranno accelerate nel moto prima che abbian potuto comunicare aumento di velocità alle seguenti: del pari le molecole superficiali di A che urtano B sono ri-

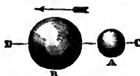


Fig. 64.



Fig. 65.

tardate nel loro moto, mentre ancora le seguenti ritengono la velocità primitiva; cosicchè le une e le altre sono spinte verso i centri delle sfere cui appartengono, e queste si schiacciano (fig. 65). Tale condizione di cose dura finchè le sfere e tutte le loro parti non ànno acquistato la medesima velocità; ed allora cesserebbe anche l' urto, se i corpi non fossero elastici. Ma per la elasticità ritornando le molecole dove prima, si scostano di bel nuovo dai centri rispettivi, e l'urto si rinnova: la velocità di B seguita a crescere, e quella di A a diminuire, come se fra le due sfere esistesse una molla a spirale che si stendesse dopo la compressione.

Gli effetti saranno differenti secondo le condizioni relative delle due sfere. Supponiamole uguali e perfettamente elastiche, ed inoltre una in riposo B, l'altra A in movimento. Dopo il primo periodo dell'urto, seguìto lo schiacciamento, la velocità comune sarà metà della velocità che avea la sfera A (47, 3°). Ma perchè si restituiscono alla forma primitiva con forza uguale alla compressione sofferta, il secondo urto produrrà effetto uguale al primo e nel medesimo senso; laonde A perduta l'altra metà di sua velocità resterà in riposo, e B si muoverà con tutta la velocità iniziale di A. Con somigliante ragionamento si rende chiaro, che se le due palle si muovessero in contraria direzione, ciascuna dopo l' urto prenderebbe la velocità dell'altra, e rimbalzerebbero (*).

(*) Si chiamino M,M' le masse dei due corpi A,B, e V,V' le loro velocità avanti l' urto. In primo luogo sia la medesima la direzione; allora supponendoli privi di elasticità, la velocità comune dopo l'urto sarebbe (47)

$$x=\frac{MV+M'V'}{M+M'},$$

Abbiansi ora più palle di avorio sospese così che i loro centri sieno collocati nella medesima linea orizzontale (fig. 66). Sollevatane una da un lato, e fattala cadere, avverrà successivamente una serie di urti, per cui ciascuna palla cederà la velocità impressale alla seguente restando essa in riposo; per che solamente l' ultima solleverassi ad una altezza uguale a quella donde fu lasciata la prima. Se la comunicazione del moto non fosse di necessità successiva, tutta la serie di palle urtate insieme dalla prima si muoverebbe come una sola massa. Conseguentemente sollevatane una da ciascun lato ad uguale altezza, e fattele cadere insieme, rimbalzeranno come se le intermedie affatto non esistessero.

118. **Elasticità di tensione.** I corpi ridotti in fili o in verghe sviluppano una grande elasticità per tensione. Se ne occupò dapprima S' Gravesande: ma Savart ne scoprì le leggi con mezzi

ossia A avrà perduto la velocità $V-x$, e B avrà acquistato la velocità $x-V'$.

Laonde dovendo raddoppiarsi l' effetto nella ipotesi della elasticità perfetta, terminato l'urto la velocità di A sarà

$$v=V-2(V-x),$$

e quella di B

$$v'=V'+2(x-V');$$

le quali espressioni, sostituendo il valore di x, diventeranno

$$v=\frac{MV'+M'(2V'-V)}{M+M'},\ v'=\frac{M'V'+M(2V-V')}{M+M'}.$$

Conseguenze. 1.ª Supponendo uguali le due masse, ossia $M=M'$, queste formole si trasformano in

$$v=V',\ v'=V;$$

le quali significano che ciascuna delle due palle prende la velocità che avea l'altra prima dell'urto.

2.ª Se oltre l'essere $M=M'$, si abbia anche $V'=o$, ossia B in quiete nel momento dell'urto avremo

$$v=o,\ v'=V;$$

cioè la palla urtante A resterà in riposo, e B si muoverà con la velocità di A.

In secondo luogo: se le due palle si muovono in direzioni contrarie, si otterranno i valori di v e v' sostituendo $-V'$ in luogo di V nelle formole precedenti; le quali diventano

$$v'=\frac{MV-M'(2V'+V)}{M+M'},\ v'=\frac{M(2V+V')-M'V'}{M+M'}.$$

Conseguenza. Suppongasi $M=M'$: ne nascerà

$$v=-V',\ v'=V,$$

ossia le due palle ritorneranno indietro, ciascuna con la velocità dell'altra.

diretti. Raccomandata una estremità del filo a sostegno fisso (fig. 67), unì all'altra un bacino con pesi. Nel filo sono due punti di



Fig. 66.

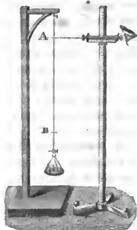


Fig. 67.

mira, de' quali si misura esattamente la distanza, prima e dopo aver caricato il bacino, per mezzo del *catetometro*. Se i pesi di cui è gravata la coppa non ànno oltrepassato il limite della elasticità si dimostrano le leggi seguenti.

1.ª I fili e le verghe godono di perfetta elasticità alla tensione.

2.ª Per una stessa sostanza a diametro costante l'allungamento risponde alla lunghezza primitiva, ed alla trazione.

3.ª Per una medesima sostanza a lunghezza costante gli allungamenti sono in ragione inversa dei quadrati dei diametri.

4.ª Stirando un filo coll' aumento di lunghezza diminuiscono il diametro e la densità proporzionalmente alla forza impiegata.

Quest' ultima legge fu verificata da Cagnard Latour con attaccare al fondo d'un tubo verticale pieno d'acqua la estremità d' un filo, che dritto rimaneva nel mezzo di quello; nell'atto di stirare il filo gradatamente, il livello dell' acqua si abbassava, ed ei ne dedusse il cangiamento di volume della parte immersa.

119. Elasticità d' inflessione. Tutt' i solidi ridotti in lamine o in fili di certe dimensioni acquistano *elasticità d'inflessione*, cosicchè se incurvansi, quando fissatili per una estremità si applica all'altra una forza che la obblighi a girare intorno alla prima, cessata poi la forza ritornano alla figura primitiva. Il cambia-

mento di figura porta seco uno spostamento molecolare: le superficie opposte della lamina diventano l'una concava, l'altra convessa: le molecole che costituivano la prima si avvicinano, quelle che sono nell'altra si allontanano: poi tutte ritornano alla distanza primiera. Sembra che in questa specie di elasticità sieno combinate le due precedenti cioè di *compressione* e di *trazione*.

Si trae profitto dalla elasticità d' inflessione che ànno le lane, i crini, le piume nella economia domestica; e nelle arti soprattutto è preziosa quella dell' acciaio temperato. La elasticità delle molle di acciaio le fa servire alla costruzione de'*dinamometri* che sono misuratori delle forze. Un d'essi (fig.68) consiste in una lamina di acciaio ABC piegata nel suo mezzo B, e avente alle estremità due archi di ferro DE, FG, che possono scorrere per aperture appositamente praticate, e si terminano il primo con l'anello E, il secondo col gancio G. Se tenendo l' anello con una mano si applica un peso al gancio, questo farà piegare la lamina, e più o meno secondo la quantità del peso: poichè tanto maggiore elasticità si sviluppa quanto è maggiore l'incurvamento. Si gradua lo strumento sperimentando le inflessioni che soffre per pesi conosciuti, e questi pesi vengono segnati sopra uno de'due archi CE. S'intende come s'impieghi il dinamometro nella misura delle forze. Si tratti ad esempio della trazione operata da un cavallo per mezzo di una corda: questa si divida in due, e si leghi un capo in E, un altro in G. La molla s' incurverà, ed avremo espressa in chilogrammi la forza del cavallo.

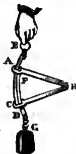


Fig.68.

Il dinamometro può avere forme e dimensioni svariatissime, e per conseguenza differente sensibilità secondo gli usi, cui è destinato. Quello di Poncelet (fig. 69) si compone di due molle di acciaio AB,CD, congiunte con pernî agli estremi. Una d' esse nel mezzo porta un anello E pel quale si sospende, l' altra un gancio. Per un peso P le due lamine si curvano e si scostano con la seguente legge, che « *l'allontanamento dei punti medi delle lamine è direttamente proporzionale alla forza appli-*

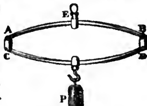


Fig. 69.

cata al dinamometro ». Una relazione così semplice rende questo strumento vantaggioso e facile all'uso più che tutti gli altri.

Notiamo alcune misure fornite dal dinamometro. Se l'uomo agisce col sólo suo peso è chiaro che la pressione uguaglia lo stesso peso; ma se mette in opra la forza muscolare, si trova esserne il valore medio 130 chilogrammi in un individuo robusto, ossia circa il doppio del suo peso. Un uomo anche seduto esercita colle gambe pressione d'oltre 300 chilogrammi. Stringendo con le mani o tirando fa uno sforzo equivalente a 50 chilogrammi. La media forza di un cavallo ordinario in trarre è di circa 360 chilogrammi.

120. **Elasticità di torsione.** Penda un filo da un punto fisso, e con un peso all'altra estremità si tenga verticale. Se il peso gira intorno a se medesimo, il filo si torce, ed acquista quella specie di elasticità che dicesi di *torsione;* ossia le molecole nella torsione sono spostate dalla posizione di equilibrio così, che considerando sul filo una seguenza di molecole superficiali, costituenti come il lato d'un cilindro di diametro piccolissimo, queste abbandonano la disposizione rettilinea e prendono quella di elica. Ma tendono a ritornare alla forma primitiva, e però cessata la forza il filo si storce. Se non che per la velocità acquistata le molecole oltrepassano la posizione di equilibrio, e la serie di molecole prende anche forma di elica dal lato opposto, e così di seguito. Se al capo inferiore del filo sia un indice, questo compirà delle oscillazioni a dritta e sinistra, e se ne misura l' ampiezza mercè una circonferenza graduata. Chiamasi *angolo di torsione* quello ch' è formato dalla posizione primitiva dell'indice e dall'altra quando è accaduta la torsione. Allorchè non si oltrepassa nella torsione il limite della elasticità, il centro di oscillazione, lo zero, è sempre l' equilibrio primitivo, il punto di partenza: in caso contrario sarà spostato nel senso della torsione.

Coulomb à studiato questa maniera di elasticità con un apparecchio detto *bilancia di torsione*, il quale consiste essenzialmente nel filo che abbiamo descritto difeso dall' agitazione dell' aria mercè una cassa di lastre. Egli discoprì le seguenti leggi:

1.ª « La elasticità di torsione è proporzionale alla forza, cui la torsione è dovuta, ossia allo stesso angolo di torsione ». Laonde anche per questa specie di elasticità le oscillazioni sono *isocrone*.

2.ª « Essendo costante la forza di torsione ed il diametro del filo, l'angolo di torsione è proporzionale alla lunghezza del filo. »

3.ª « Essendo costanti torsione e lunghezza di filo, l'angolo di torsione è in ragione inversa della quarta potenza del diametro ».

4.ª » Le durate delle oscillazioni sono tra loro come le radici quadrate de' pesi che tendono il filo, e delle loro lunghezze; non che nella ragione inversa de' quadrati de' diametri. »

121. **Applicazione della elasticità di torsione alla misura della densità media della terra.** È preziosa la bilancia di Coulomb per misurare la intensità delle varie forze attrattive e ripulsive. Ne faremo uso trattando della elettricità e del magnetismo. L'apparecchio di Cavendish descritto altrove (54) non è altra cosa che una bilancia di torsione. Ei se ne valse a determinare non solo la natura e le leggi dell'attrazione terrestre, ma financo la *densità media* della terra. Con questo nome s'intende la densità, che avrebbe un globo delle stesse dimensioni che à il nostro pianeta, se tutt'i corpi in esso contenuti, anche quelli di cui ignoriamo la esistenza, fossero insieme mescolati così intimamente da formarne un tutto omogeneo. Il ragionamento per la soluzione di tale problema può esser condotto a questo modo. Poichè la forza di attrazione che fa oscillare il pendolo nella bilancia di Cavendish è proporzionale alla massa, chiamando g,M, l'attrazione e la massa della terra, g',M', l'attrazione e la massa del globo di piombo, avrà luogo la proporzione

$$g : g' : : \mathrm{M} : \mathrm{M'}; \text{ ossia (9) } g : g' : : \mathrm{DV} : \mathrm{D'V'},$$

rappresentando D,V la densità *media* della terra ed il suo volume, D',V' la densità ed il volume del piombo; donde si deduce

$$\mathrm{D} = \frac{g\mathrm{D'V'}}{g'\mathrm{V}}.$$

Tutti i fattori del secondo membro sono noti. Infatti g valore della gravità alla superficie terrestre è 9^{m},8088; D'= 11, 445; V' s'inferisce dal peso e dalla densità del piombo; V si à dalla forma della terra e dalla lunghezza de' suoi assi (51). Finalmente g' si ottiene osservando, che il pendolo di Cavendish di rincontro alla palla di piombo impiegava a un dipresso 420'' per compiere una oscillazione, e solo un 1'' oscillando per la gravità terrestre; adunque poichè le due forze g, g' sono nella ragione inversa de' quadrati di quelle durate (75), assumendo g=1, avremo $g' = \frac{1}{(420)^2}$, o altrimenti sarà 176400 volte meno intensa della gravità terrestre.

Da questi calcoli dedusse Cavendish, che la *densità media* della terra era espressa dal numero 5,48. È ben vero che altri sperimen-

tatori ottennero risultamenti diversi: infatti Maskeline paragonando l'attrazione della terra a quella del Monte Shehallien (54,1°)di cui avea misurato e volume e densità, la trovò di 5, 5; ed Hutton calcolando le stesse misure di Maskeline ne ebbe esattamente 5; e Carlini col pendolo in cima al Monte Cenisio la dedusse alquanto minore, cioè 4,39; ed ultimamente l'astronomo Airy valendosi anche del pendolo e di tutti gli aiuti, che può somministrare la fisica co' suoi progressi del giorno, ne à ottenuto un valore assai più elevato, cioè 6,566 con un errore in più o in meno di 0,0182 (*). Ciò non ostante sono tutti d'accordo nello stabilire questa densità media di molto maggiore che quella dell' acqua. Or si rifletta, che così gran parte della superficie del globo, cioè i quattro quinti, è ricoperta dalle acque,le quali penetrano a grande profondità; ed il rimanente è composto di sostanze o più leggiere dell'acqua, come il maggior numero degli esseri organizzati, o di poco più pesanti, quali sono in generale i terreni delle varie formazioni geologiche, tranne qualche rara eccezione che è un nulla al confronto di così enorme massa. E si concluderà a buon dritto, che nell'interno del nostro pianeta sieno corpi di molto più densi degli strati superficiali accessibili alle nostre ricerche: forse metalli a stato nativo, o altri esseri di sconosciuta natura.

(*) Account of pendulum esperiments undertaken in the Harton colliery to determine the mean density of the earth, by C. B. Airy, Esq. Astronomer royal. From the Philosophical Transactions, P. I for 1856.

LIBRO TERZO

STATO LIQUIDO

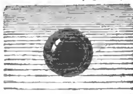
NATURA DE' LIQUIDI E LORO SPECIALI PROPRIETÀ.

122. **Caratteri dello stato liquido.** La mobilità estrema delle molecole, rimanendo costante la distanza tra i loro centri di gravità, costituisce il carattere distintivo dei liquidi. È tale cioè la maniera di equilibrio tra le due forze attrattiva e termica, che per qualunque leggerissima cagione di moto le molecole cangiano agevolmente di sito girando le une intorno alle altre, senza che la densità del liquido sensibilmente si alteri.

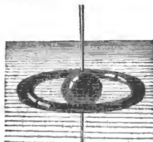
Per conciliare le due specie di forze attraenti ne' solidi la universale e la molecolare, si esprime l' attrazione in complesso con formola a due termini: il primo è funzione reciproca del quadrato della distanza tra i centri delle molecole, il secondo funzione d'un ordine molto superiore. Questa seconda è dipendente dalla forma delle molecole, non così la prima. Ne' liquidi poi le molecole senza influenza della forma risentono la coesione ; ed agiscono tra loro come se fossero assolutamente sferiche. Sarebbe un difetto di completa liquidità una qualunque resistenza, che le molecole opponessero al moto, come accade ne' liquidi che diconsi *viscosi*.

Allorchè ne' liquidi non agisce altra forza , all' infuori di quelle che ne costituiscono lo stato, cioè attrazione molecolare temperata con la forza termica, essi presentano forma sferica, poichè nessun' altra può sodisfare alla uguaglianza di azione da ogni verso. Per verificarsi questa ipotesi è necessario che possa trascurarsi così la gravità, come l'attrazione de' corpi circostanti. Prendono infatti forma sferica le goccioline di mercurio sul ferro o sul platino , e quelle di acqua sulle foglie di parecchi vegetabili, o sur una lamina cospersa di polvere impalpabile ed insolubile. Per converso se le gocce ànno dimensione non picciolissima, si schiacciano, diminuendo per la gravità il diametro verticale, e allungandosi gli orizzontali; e similmente il mercurio su gli altri metalli, e l'acqua su corpi atti a bagnarsi si spandono.

123. Forma de' liquidi in altro liquido e nell'aria. Per determinare le due condizioni indicate, cioè mancanza così di peso come di azione all'intorno, Plateau compone di acqua e di alcole una miscela avente la stessa densità dell'olio, e versa questo in quella: l'olio vi si dispone da se in equilibrio, e prende forma sferica (fig. 70). È bello notare che introdotta nella sfera di olio una verga metallica e fattala rotare, la sfera per la forza centrifuga si schiaccia: ma, cresciuta la velocità di rotazione oltre un certo limite, la massa di olio si divide in due: uno sferoide compresso resta al centro, ed un anello il circonda di fuori (fig. 71). È evidente la relazione del fenomeno e forse anche della cagione coll'anello di Saturno.


Fig. 70.

Ma se intervengono attrazioni straniere cangia la forma dell'olio dipendentemente da queste. Perchè l'effetto non sia turbato si versa la miscela alcolica entro una cassa di lastre congiunte con mastice (fig. 72), che può vuotarsi quando occorre per una chiave: dei fori traversano il fondo superiore, pe' quali prima si versa l'olio con una pipetta, e poi vi s'introducono filetti metallici di varia forma unti innanzi di olio. L'olio nuotante vi aderisce e prende nuove forme secondo le diverse condizioni di equilibrio. Ad esempio se il filo metallico è formato ad anello l'olio prende forma di lente biconvessa, e tra due anelli paralleli e sovrapposti che lentamente si scostano l'olio prende figura di cilindro terminato da due calotte sferiche, come nella figura.


Fig. 71.

Da ultimo questi fatti si avverano anche nell'aria, e perchè sia nulla la influenza della gravità e restino sole ad agire l'adesione tra solido e liquido e la coesione delle particelle liquide Plateau à ideato d'immergere in un liquido denso (il *liquido glicerico* formato di soluzione di sapone e glicerina) un filo metallico rappresentante diverse figure, come cerchio, cubo, piramide e simili: lentamente sollevando tali scheletri metallici dalla soluzio-

ne, questa vi rimane aderente, e le sue falde s'incurvano in dentro e s' intersecano e compongono una figura maravigliosamente simmetrica. Se tra gli spigoli della figura glicerica o al vertice di un angolo solido rimane una bolla d' aria o soffiandovi dentro con una pipetta si cerca di gonfiarla, essa si dispone sempre con simmetria in dipendenza delle sue dimensioni e de' filetti metallici che tocca. Ò variato in mille modi queste esperienze, ed ò scoverto in esse nuovi fatti e nuove leggi (*) valevoli a dimostrare che tutto questo magistero sia dovuto alle forze di adesione e coesione. Bastino le due osservazioni seguenti :

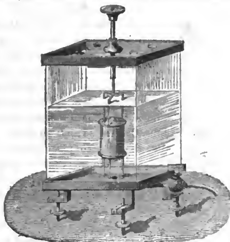


Fig. 72.

1. Allorchè le intersezioni delle falde liquide generano una figura piana interna, la quale può essere simmetrica intorno a quelle, comunque esista in uno o in un altro di due piani perpendicolari fra loro, quella figura si trova indifferentemente nell'uno o nell'altro dei due piani; secondo le circostanze speciali nell'atto d'immergere lo scheletro nel liquido o nel sollevarlo. É questo il caso di due cerchi tagliantisi in un medesimo diametro, e similmente del cubo.

2. Sollevando con una certa agilità lo scheletro dal liquido, se la forma che esso prende non deve presentare un asse verticale, è bello vedere che lo scheletro è vuoto finchè non emerge dalla superficie liquida il suo orlo inferiore; e poi questo ascende nell'interno, e come per incanto vi si dispone secondo le leggi d'equilibrio.

La teorica di questi fatti è connessa intimamente coi fenomeni della capillarità.

124. **Compressibilità de' liquidi.** Gli accademici del Cimento si studiarono scovrire la compressibilità dei liquidi, ed usa-

(*) Rendiconto dell'Accademia Pontaniana 19 Genn.

rono un tubo ricurvo terminato da due palle, le quali con la porzione contigua del tubo contenevano acqua. Riscaldata questa da un lato speravano, che la forza premente costringesse il volume dell'acqua nell'altra palla. Delusi in cotale primo tentativo, chè il vapore trasformatosi in liquido accresceva piuttosto la mole di quella, fecero agire direttamente sopra una colonna d'acqua contenuta in un tubo una colonna di mercurio alta 21 piedi, e poi idearono l'altro apparecchio della sfera metallica (8,1); e riusciti vani anche questi argomenti si opinò generalmente che la compressibilità de' liquidi fosse nulla o insensibile. Così sino al 1761, quando l'inglese John Canton, ad un tubo di maggiore diametro soprapposto ne un altro di diametro piccolissimo e riempito d'acqua il primo e parte del secondo, pervenne a scoprire, che mercè valida pressione il livello del liquido si abbassava; ma una qualche difficoltà rimaneva, non forse quell' abbassamento dovesse attribuirsi alla cresciuta capacità de' tubi per le pressioni di dentro in fuori.

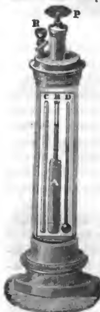


Fig. 73.

Il *piezometro* (*) di Oersted, il quale sperimentò in Copenaghen nel 1823, à fatto svanire ogni dubbio. Componesi (fig. 73) d'un vase cilindrico di cristallo a pareti fortissime sostenuto da una base. Superiormente mercè ghiera di ottone è unita una camera di tromba con entrovi uno stantuffo a vite P. Da un lato v'è il piccolo imbuto R a chiave, per colmare il cilindro d'acqua fin sotto la base dello stantuffo. Da ultimo ad una laminetta metallica sono raccomandati i tre tubi AB, C, D.

Il primo d'essi AB è l'apparecchio stesso di Canton, ossia un cilindro A terminante in un tubo di piccolo diametro: si riempie di acqua, se vuole sperimentarsi su questa, il cilindro e parte del tubo; ed una goccia di mercurio o meglio una bolla d'aria nel tubo divide l'acqua interna dalla esterna. Il tubo C aperto solo inferiormente è un vero *manometro ad aria compressa*; è pieno di aria; ma l'acqua compressa vi penetra, e dalla diminuzione nel volume dell'aria si argomenta la quantità delle pressioni espresse in atmo-

(*) Dalla voce greca πιέζειν *comprimere*.

sfere. D è un termometro per conoscere se durante l'esperienza si cangia la temperatura.

Ciò posto, allorchè girando la vite P, si abbassa lo stantuffo, l'indice nel sistema di tubi AB discende; segua per tale moto una compressione, poichè la capacità del recipiente rimane costante ricevendo la stessa pressione da ambo i lati; ma ne dà pure la misura, sapendosi la relazione tra le capacità di A e di B, che antecedentemente si determina pesando la quantità di mercurio necessaria per riempire il cilindro A, e quella richiesta per occupare una certa lunghezza del tubo B.

Colladon e Sturm nel 1832 ripresero queste ricerche spingendo la pressione sino a 24 atmosfere, e ponendo anche a calcolo la compressione accaduta nel vetro del piezometro (*). Ecco alcuni de' risultamenti ottenuti, ne' quali le contrazioni sono espresse in milionesimi del volume primitivo per un'atmosfera:

Mercurio	3, 38	Acqua stillata	49, 65
Acido solforico	30, 35	Etere azotico	69, 85
Acido azotico	30, 55	Essenza di tereb.	75, 35
Ammoniaca	33, 05	Alcole	94, 95
Acqua comune	47, 85	Etere solforico	131, 35.

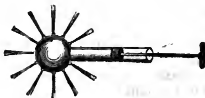
Essi scoprirono che la compressibilità è relativamente minore al crescere della pressione, ma per l'acqua e pel mercurio dentro certi limiti è proporzionale alle pressioni. Si osservi che l'acqua privata d'aria con la distillazione è più atta ad essere compressa che la ordinaria; donde si fa chiaro che erroneamente si attribuirebbe il fatto alla presenza dell'aria.

Cessata la forza premente, l'indice del piezometro ritorna alla posizione primitiva; adunque i liquidi sono anche elastici.

125. Principio dell'uguaglianza di pressione. Dalla somma mobilità delle molecole liquide, e dalla quasi niuna compressibilità consegue, che qualunque benchè minima pressione si eserciti in un elemento di una massa liquida, essa con la medesima intensità si propaga per tutto in ogni direzione. Questo teorema costituisce il così detto *principio dell' uguaglianza di pressione*, o anche *principio di Pascal*, che lo enunciò il primo. È age-

(*) Si à dai calcoli di Poisson che la capacità c del piezometro si cangia in $c\left(1-\frac{3d}{2}\right)$ sotto la pressione p esercitata sulla unità di superficie, la quale accorci di d una verga della medesima sostanza che il piezometro.

vole dimostrarlo sperimentalmente. Ad una sfera vuota (fig. 74) e tutta intorno bucherata si unisca una camera di tromba con entrovi uno stantuffo: riempito il tutto di acqua, se spingasi in giù lo stantuffo si vedranno tanti getti di liquido venir fuori per ogni verso. Al medesimo scopo vale meglio il seguente apparecchio. Abbiasi un recipiente di qualunque forma riempito d'acqua e chiuso; manchi un elemento di parete, ed in sua vece si adatti una camera di tromba con uno stantuffo mobile. Se allo stantuffo si applica una forza premente di fuori in dentro, questa si distribuirà ugualmente per tutta la massa liquida. Infatti si pratichi in altra posizione a piacere un foro uguale, cui si applichi una seconda camera di tromba munita di stantuffo : questo sarà spinto in fuori, e non rèsta al suo posto senza una contraria forza uguale a quella che agisce sul primo stantuffo.


Fig. 74.

S'intende che questo principio abbraccia le sole pressioni esterne ed estranee alla natura del liquido, e non già quelle dipendenti dalla gravità. S' inferisce ugualmente che, se chiamisi p la pressione esercitata sulla unità di superficie, sarà doppia, tripla, quadrupla..... la pressione ricevuta sopra una superficie uguale a 2, 3, 4...; ed in generale la pressione sulla superficie A sarà espressa da Ap. Il che vuol dire, che se al vase testè mentovato si aggiustino due stantuffi con basi, le cui superficie sono nella ragione di 1:4, per l'equilibrio sarà necessario spingerli in senso opposto con forze che sieno nella stessa ragione.

Strettoio idraulico. Dalle cose discorse si deduce la teoria del *torchio idraulico* (fig. 75), macchina destinata a produrre validissime pressioni; fu ideato da Pascal, e costruito la prima volta da un meccanico inglese nel 1796. Sovra una base sono piantate verticalmente due camere di tromba a diametro ineguale con entrovi due stantuffi A, B: le camere comunicano mercè un tubo orizzontale. Il corpo M, su cui si vuole esercitare la pressione, si trova tra due piani metallici ben resistenti, per l'ordinario di ferro fuso: l'inferiore riceve direttamente la spinta dall' asta dello stantuffo B, il superiore D è congiunto molto solidamente alla base dell' intero

apparato. Mettendo in azione lo stantuffo A viene aspirata l'acqua dalla vasca H, la quale riempite le due camere di tromba, spingendo in su lo stantuffo B esercita la voluta pressione. Per calcolarne il valore, supponiamo che i diametri delle due camere di

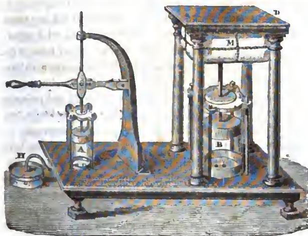


Fig. 75.

tromba sieno nella ragione di 1:10; le basi degli stantuffi saranno 1 e 100, e quindi B sarà sollevato con una forza cento volte maggiore di quella che è applicata allo stantuffo A. Ma per l'ordinario si fa agire la tromba A per mezzo di una leva di secondo genere com'è nella figura. Imaginiamo che la relazione tra le braccia della potenza e della resistenza sia come 1:5; allora il corpo M riceverà una pressione 500 volte maggiore.

Non si creda però che questo caso faccia eccezione alla legge stabilita (96. 3°); che anzi la conferma. Infatti il moto dello stantuffo B è tanto più lento dello stantuffo A, o del punto, cui si applica la potenza, quanto essa è minore della pressione cagionata.

PRESSIONI DE'LIQUIDI DIPENDENTI DALLA GRAVITÀ.

126. **Pressioni in una massa liquida a differente altezza.** Le masse liquide esercitano e soffrono pressioni in ragione del loro peso. Concepiscasi diviso tutto un liquido in tanti

strati paralleli alla superficie esterna, che dicesi *superficie di livello*. Le molecole dello strato superficiale tendono a scendere in virtù del loro peso, e premono lo strato sottoposto: questo si abbasserà tra pel proprio peso e per la pressione ricevuta dallo strato superiore, e così di seguito. Donde s'inferisce la seguente legge:

« La pressione esercitata da un liquido in virtù del suo peso cresce con la profondità della sezione che la riceve, ed è uguale al peso d'una colonna liquida che à quella sezione per base, e per altezza la distanza del suo centro di gravità dalla superficie di livello»·

Tal pressione sarà dunque costante per un medesimo strato orizzontale, e si propagherà per ogni verso in virtù del *principio di eguale pressione* (125).

Valgano a conferma del detto le sperienze che seguono.

1. Applicato per semplice contatto un fondo piano e ben levigato *ab* (fig. 76) ad un tubo di cristallo M, immergasi in un vase con acqua. Dapprima sarà necessario sostenere il fondo, perchè non cada, con una mano, o con un filo teso; ma presto non farà più bisogno, e sarà anzi necessario spingere il tubo con uno sforzo tanto più valido a quanto maggiore profondità si vuole abbassarlo. Se allora si versa dell'acqua nel tubo, allorchè questa avrà raggiunto il livello esterno, anzi alquanto prima, si vedrà cadere il fondo pel proprio peso. Potrebbe anche adattarsi al tubo internamente, allorchè è immerso nel liquido, un'asta con piede, che si tenesse ritta e poggiata sul fondo, e finisse in su con una coppa; collocando in questa de' pesi sino a produrre il distacco del fondo, si troverebbe avere essi il valore indicato. Cotale pressione si esercita di sotto in sopra, e vien detta *spinta del liquido*.

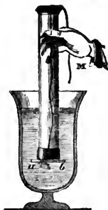


Fig. 76.

2. Immergasi nell'acqua del recipiente A (fig. 77) un sistema di tubi B*b*, C*c*, D*d*, E*e* aperti ai due lati, e tali che il primo sia dritto, il secondo leggermente piegato, il terzo e 'l quarto curvati maggiormente così che l'orlo *d* sia verticale, *e* orizzontale. L'acqua salirà in tutti alla stessa altezza che nel vase. Or le colonne liquide dentro i tubi tendono a discendere pel loro peso, e son sostenute

dalle pressioni esercitate dal liquido circostante contro le loro sezioni inferiori. E poichè queste sono variamente inclinate, si deduce che la pressione di sotto in sopra, o di sopra in sotto, o laterale è sempre la medesima per uno stesso strato orizzontale.

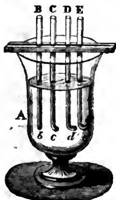


Fig. 77.

127. **Pressioni dei liquidi sulle pareti dei recipienti.** Le molecole liquide comunicano anche alle pareti dei recipienti in virtù del principio di *egual pressione* la pressione che esse sostengono. Adunque sopra un elemento di parete uguaglierà il peso d' un filetto liquido avente quell'elemento per base, e per altezza la sua distanza dal livello. Dippiù sarà normale all' elemento ; chè se fosse obbliqua, decompostala in due, una perpendicolare, l'altra parallela, la seconda non produrrebbe effetto. Per convincersene con apposita esperienza, si faccia un foro al recipiente , e si chiuda con uno stantuffo mobile: perchè questo resti al suo posto, non ostante la spinta del liquido interno, conviene gli si applichi di fuori in dentro una forza che abbia la intensità indicata. Similmente se a quel foro si unisca un tubo ricurvo con un ramo ascendente, il liquido lo riempirà sino a raggiungere il livello nel recipiente ; adunque il peso della colonna liquida darà il valore di quella pressione contro l'elemento di parete che manca.

Centro di pressione. Le pressioni sugli elementi di parete van dunque crescendo con la profondità; e però compostele insieme, la risultante sarà sempre applicata al di sotto del centro di gravità del liquido. Questo punto vien detto *centro di pressione* ; la sua posizione dipende dall' ampiezza e figura della superficie su cui quella si esercita, e vien determinata geometricamente. A noi basterà enunciare i seguenti teoremi. « Il centro di pressione sopra una parete rettangolare, che abbia l'orlo superiore a fior d'acqua, è sito ai due terzi della retta che unisce i centri dei due lati orizzontali a partire dall'alto ; sopra una parete triangolare avente la base a fior d'acqua è alla metà della retta, che unisce il vertice col punto medio della base; e se il vertice è in alto, ai tre quarti di quella retta a partire dal livello. « Laonde se il serbatoio è ci-

lindrico o prismatico, i centri di tutte le pressioni sulle pareti saranno in una sezione uguale alla base sita a due terzi dell'altezza dal livello; e se è conico col vertice in alto o in basso costituiranno un cerchio distante dal livello tre quarti o metà dell'altezza.

Reazione dei liquidi, argano idraulico. Tutte le pressioni orizzontali esercitate dal liquido contro le pareti sono senza effetto. E in vero due a due si distruggono perchè agiscono in opposte direzioni, e si pareggiano, essendo equidistanti dalla superficie di livello gli elementi che le ricevono. Ma se facciasi da un lato un foro, donde sgorghi il liquido, mancherà quivi la pressione, e resterà la componente dall' opposto lato. Questa spinta determinerà al moto il vase, quando ne sia distrutto il peso e diminuito al possibile l'attrito. Sospendasi ad esempio mercè una corda CE un globo di cristallo A (fig. 78) pieno d' acqua, con un foro B lateralmente munito di chiave. Non appena questa si apre, ed incontanente il globo sarà spostato dalla posizione d' equilibrio in senso contrario alla direzione del getto formando la corda un angolo con la direzione del filo a piombo CD. Si arresterà per altro quando la spinta venga uguagliata dalla componente della gravità, che tende a rimettere il globo nella posizione pristina e cresce coll'angolo di deviazione ECD.



Fig. 78.

Il moto invece sarebbe continuo, se la spinta non incontrasse contrasto, come succede nel così detto *argano idraulico*, col quale il moto di traslazione vien cangiato in quello di rotazione. Consiste questo apparecchio (fig. 79) in un recipiente M mobile intorno ad un asse verticale, mercè due perni: finisce in giù col tubo orizzontale C ad estremità piegate in senso contrario. Nell'uscire il liquido, manca la pressione all' apertura dell' orifizio B, e la pressione sulla parete opposta A farà rotare il recipiente, essendo cospiranti quelle che agiscono ai due estremi.

128. **Pressioni sul fondo**. *La pressione che un liquido esercita sul fondo del vase è indipendente dalla capacità di questo, ed uguaglia il peso d' una colonna liquida avente per base il fondo, e per altezza la distanza dalla superficie di livello.* Questo teorema,

che à del maraviglioso, vien detto *paradosso idrostatico*. Convinciamocene prima con la esperienza per mezzo dell' apparecchio di Haldat (fig. 80). Esso si compone di un tubo ABC piegato ai due lati ad angolo retto, e fermato sopra un sostegno: alla estremità A si possono unire a vite successivamente i tre vasi D, E, F, a basi eguali; il primo cilindrico, il secondo e'l terzo a cono tronco, aventi in alto quello la base più ampia questo la più ristretta. Versata in B una certa quantità di mercurio, e collocato in A il vase D, si riempia d' acqua fino ad un'altezza misurata dall' indice *o*; si vedrà il livello del mercurio ascendere nel ramo C fino a raggiungere per esempio l'anello *a*. Se allora si tolga il cilindro D dopo averlo vuotato per

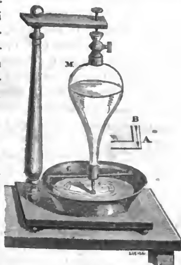


Fig 79.

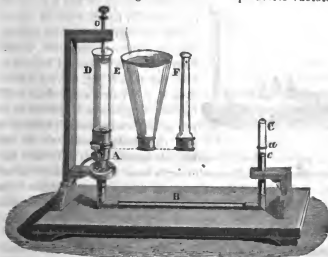


Fig. 80.

mezzo della chisve A, ed in sua vece si collochino uno dopo l'altro i due vasi E, F, avverrà che riempitili sino allo stesso livello

segnato da *o*, il mercurio in C sarà spinto ugualmente all'anello *a*. Adunque la pressione dell'acqua de' tre vasi comunicata al mercurio è per tutti la stessa.

Ciò posto, è agevole intendere la ragione del teorema. In quanto al vase cilindrico D, poichè tutti i filetti liquidi premono direttamente la base, è chiaro che la pressione totale sarà quale fu enunciata. Pel recipiente E una parte della pressione vien sostenuta dalle pareti. Da ultimo rispetto al vase F convien notare, che le pareti esercitano sul liquido interno e per esso sul fondo quella stessa pressione che sarebbe prodotta, se il recipiente fosse cilindrico. Consideriamo infatti nel vase ACB (fig. 81) la pressione normale CD sull'elemento C. Questa potrà risolversi in due, l'una E orizzontale, l'altra verticale F. La seconda, che è corrispondente alla profondità del punto C dal livello, viene distrutta dall'elemento C; ed in vero se quivi fosse un foro con un tubo verticale, questa pressione sosterrebbe la colonna liquida, che vi s'innalzerebbe sino a quell'altezza. Adunque uguale pressione dall'elemento C si esercita contro il liquido sottoposto e per esso al fondo BA (*).



Fig. 81.

Quindi due conseguenze importanti. 1.ª La pressione sul fondo è ben altra da quella che il recipiente con entrovi il liquido esercita sul corpo che lo sorregge; questa uguaglia sempre il peso di entrambi, mentre l'altra pareggia il peso del liquido nel caso del tubo D (fig. 80), ne è minore in E, e le pareti sopportano la differenza; maggiore in F, poichè le pareti provano una spinta di sotto in sopra, che tende a sollevarle. In ogni caso il peso del liquido è uguale alla somma o alla differenza delle pressioni verticali sulle pareti e sulla base. Per convincersi ad evidenza che i liquidi esercitano uno sforzo per sollevare le pareti superiori abbiansi due dischi di legno AB,CD (fig. 82) congiunti con una striscia estendibile ed impermeabile all' acqua, per e-

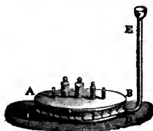


Fig. 82.

(*) Rappresentando *g* la gravità, *d* la densità d'un liquido, *a* l'altezza del livello, la pressione normale sulla unità di superficie potrà esprimersi con *gda*; laonde la pressione sostenuta da una base B sarà *gda* B.

sempio di cuoio; lo spazio che rimane fra essi comunica col tubo dritto E. Se per questo si versa dell'acqua, il disco AB di fatto vedrà sollevarsi: e per tenerlo al posto converrà caricarlo di pesi, i quali calcolati riusciranno uguali al peso d'una colonna d'acqua avente il disco AB per base, e per altezza quella del liquido nel tubo E.

2.ª Con quantità limitata di liquido potrà cagionarsi una pressione enorme sul fondo, restringendo in alto il recipiente in forma di tubo, e portandolo a conveniente altezza.

EQUILIBRIO DEI LIQUIDI O IDROSTATICA.

129. Condizioni generali di equilibrio d'un liquido.

1.ª Ogni molecola nell'interno della massa deve essere spinta ugualmente in contrarie direzioni.

2.ª La superficie libera o di livello deve disporsi perpendicolarmente alla risultante di tutte le forze, da cui il liquido è animato.

L'una e l'altra s'intendono facilmente; la prima, perchè altrimenti la molecola si muoverebbe nel senso della forza maggiore; la seconda, poichè se la risultante fosse obbliqua alla superficie di livello, decompostala in due, una perpendicolare, l'altra tangente, quest'ultima cagionerebbe moto senza opposizione di sorta.

Conseguenze. Da cotesti principî dipendono evidentemente le illazioni che seguono.

1.ª *Superficie di livello orizzontale.* Se un liquido è animato dalla sola forza di gravità, la superficie di livello sarà orizzontale, e sempre, comunque il vase, che lo contiene, variamente s'inclini. Così la superficie delle acque stagnanti, de'laghi, e dei mari di piccola estensione. Abbiam trovato in ciò la ragione d'un fatto assunto altrove come un dato sperimentale (51).

2.ª *Livello de'liquidi soggetti a forze di varia indole.* Se poi il liquido è animato da altre forze oltre la gravità, la superficie non sarà orizzontale, ma perpendicolare alla risultante della gravità e delle forze aggiunte. Di qui si spiega come per l'influenza maggiore della forza centrifuga all'equatore gli oceani si sollevano e si schiacciano ai poli; e le acque s'innalzano in vicinanza delle grandi montagne; e si ergono pure o si deprimono per l'attrazione combinata della luna e del sole, ed alternante nel flusso e nel riflusso.

3.ª *Equilibrio d'un liquido in vasi comunicanti.* Allorchè un medesimo liquido si trova in più vasi comunicanti tra loro, ascende in tutti la superficie di livello alla stessa altezza. Abbiasi in fatti il vase D (fig. 83), che per mezzo del condotto orizzontale *mn* comunica co' tubi di varia forma e di qualunque capacità A, B, C: versando acqua in D, si vedrà ascendere per tutti al medesimo piano orizzontale. Il quale esperimento è conseguenza insieme e riprova del teorema dimostrato (128), poichè una sezione del condotto orizzontale *mn* deve ricevere nel caso di equilibrio pressioni uguali da ambo i lati.

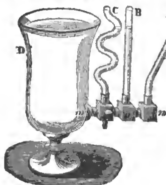


Fig. 83.

La teorica de'vasi comunicanti si applica del pari ai grandi bacini che costituiscono i mari. Purtuttavolta ci si presentano molte eccezioni, e notevolissime. Nelle livellazioni eseguite durante la spedizione di Egitto dal governo francese si conobbe, che il livello del Mar Rosso si eleva al di sopra del Mediterraneo per 9ᵐ,9 nell'alta marea, 8ᵐ,12 nella bassa. Somigliantemente il mare del sud a Callao supera di 7 metri il livello dell'oceano a Cartagena; ed il mare Jonio eccede in altezza tre metri il Tirreno, donde la denominazione di *superiore* al primo, d'*inferiore* al secondo. (*)

Non è malagevole assegnare le cagioni probabili di queste differenze. La varia forza delle correnti, la temperatura non uguale a norma delle latitudini, la forma dei bacini, la proporzione non costante de' sali: sono tanti fatti che ci avvertono doversi rassomigliare le acque de' mari a liquidi eterogenei. Si consideri inoltre che la terra è ben lungi dall' essere omogenea nella sua composizione: v' à per giunta delle immense caverne sotterranee dovute all'azione de'vulcani, a' sollevamenti, alle acque fluenti nel suo interno (**). Da che si comprende, che esercitando essa attrazione

(*) Luigi Grimaldi, Studi archeologici sulla Calabria-Ultra seconda — Valentini, Prospetto Istorico-Politico delle Calabrie, vol. 1 p. 170.

(**) Tra i tanti fatti geologici ci piace dir solo, che il granito di Svezia e di Norvegia presenta cavità straordinarie. La profondità della voragine di Marienstadt è sconosciuta, e nell'altra di Frederickstall lasciato cadere un

più valida dove è più densa, le acque sovrapposte vi si abbasseranno per sollevarsi nel bacino contiguo.

4ª. *Liquidi eterogenei nell'istesso vase*. Più liquidi di densità differente e non atti a mescersi si versino nel medesimo recipiente. Perchè si abbia equilibrio conviene che ciascuno sodisfi separatamente alle condizioni esposte. Epperò si disporranno a strati paralleli con le superficie di separazione orizzontali. Per l'equilibrio stabile richiedesi inoltre che gli strati più densi sieno per ordine anche i più bassi, affinchè la posizione del centro di gravità dell'intero sistema sia la più bassa possibile.

5.ª *Liquidi eterogenei in vasi comunicanti*. Da ultimo se due liquidi eterogenei son contenuti in recipienti comunicanti, per lo equilibrio è necessario che le loro altezze sieno in ragione inversa delle densità. Si versi infatti mercurio nel sistema di tubi ABCD (fig. 84): ascenderà a' due lati alla medesima altezza. Ma aggiungendo acqua nel tubo AB, quivi il mercurio si abbasserà per sollevarsi nell'altro ramo, affinchè l'eccesso della colonna di mercurio CD faccia equilibrio alla colonna d'acqua AB. Or se si misura la lunghezza AB, si trova essere 13 volte e mezzo maggiore di CD, precisamente quanto la densità del mercurio supera quella dell'acqua. (*)

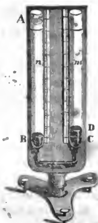


Fig. 84.

130. Applicazioni. Gli ordigni che seguono sono fondati sulle teorie esposte.

1. *Orizzonte artificiale a mercurio*. Consiste questo strumento di grande pro agli astronomi ed ai marini in un vase di cristallo o di marmo, nel quale da apposito serbatoio si versa mercurio, e può levarsene novellamente con ingegnoso meccanismo: la superficie del mercurio si dispone tosto orizzontalmente, ed è difesa dall'agitazione dell'aria mercè una scattola di lastre a facce parallele con due ad angolo a mo' di tettoia.

sasso ne ritorna l'eco dopo un minuto e mezzo, o due. Questo tempo secondo il calcolo di Perrit corrisponde ad uno spazio di 59049 o 36866 piedi inglesi, cosicchè equivarrebbe l'altezza a due o tre volte quella del Chimboraço—The Gallery of nature by Rev. Thomas Milner. London 1852.

(*) Chiamisi B la superficie di separazione de' due liquidi, e sieno d, d' le loro densità, a, a' le altezze a cui ascendono. Le pressioni che B sostiene dai

2. *Livello ad acqua.* È formato da un tubo di metallo (fig. 85), cui son congiunti agli estremi con mastice ad angolo retto due tu-

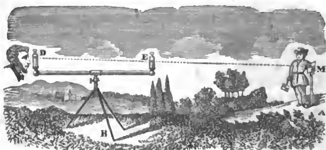


Fig. 85.

bi di cristallo, ed è sostenuto in posizione orizzontale da un treppiede. Viene adoperato per livellare i terreni. Volendo determinare p. e. di quanto il punto A è più elevato sull'orizzonte di B, si colloca in B il livello, ed in A una *biffa*, la quale consiste in due aste graduate e scorrevoli così da potersi allungare o accorciare, e finisce in su con lastra di latta M avente un punto di mira al centro. Versata dell'acqua nel sistema di tubi, si dirige un raggio visuale tangente le superficie di livello. Questo raggio è orizzontale: allungando la biffa si fa che esso corrisponda al suo centro M; e si ottiene la livellazione misurando la differenza tra la lunghezza della biffa e l'altezza dello strumento.

3. *Livello a bolla d'aria.* È molto più usato, e capace di assai maggiore precisione che il precedente. Consiste in un tubo di cristallo DC (fig. 86) appena nn pochissimo curvato, pieno di un

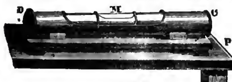


Fig. 86.

liquido colorato con solo una bolla d'aria, e chiuso in tubo d'ottone, lasciandone scoperta in su la porzione media. Si fissa sopra una base P, che quando è orizzontale il centro M della bolla d'aria viene nel punto medio del tubo. Se il livello è ben costruito si co-

due lati saranno (128) gda B, $gd'\,a'$ B. Ma per l'equilibrio le due pressioni debbono uguagliarsi; avremo dunque $da = d'a'$, donde

$$a : a' :: d' : d.$$

nosce a questo modo: si aggiusti il piano su cui è poggiato finchè il centro della bolla sia nel punto M: allora fissato il piano, e rivolto orizzontalmente il livello per una mezza rotazione, fa d'uopo che la bolla ritorni al suo posto.

CORPI IMMERSI E GALLEGGIANTI.

131. Pressioni de'liquidi contro i solidi immersi: principio di Archimede. Il valore generale della pressione d'un liquido contro un elemento della sua massa o delle pareti esprime ugualmente quella, che soffrono i corpi immersi (fig. 87). Potendosi considerare gli elementi di superficie d'un corpo immerso due a due ugualmente distanti dal livello D, le pressioni orizzontali si distruggono perchè uguali ed opposte. Resteranno le pressioni verticali A, B, opposte anch' esse, ma ineguali. Quella di sotto in sopra B è più valida dell'altra: la differenza è eguale al peso d'una colonna liquida che abbia il volume del solido immerso. A questa *spinta verticale* in su riduconsi dunque tutte le pressioni che un solido sostiene da un liquido. Donde il così detto principio di Archimede, da lui scoperto nel ricercare se fosse di oro schietto la corona di re Gerone; e tanta gioia gliene venne da correre le vie fuori di se gridando l'*ò trovato*. Si enuncia a questo modo: « *un solido immerso in un liquido perde del suo peso una parte uguale al peso d'un volume di liquido identico al suo.* »

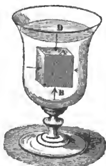


Fig. 87.

La sperienza il conferma mercè la bilancia, che dall'uso cui è destinata vien chiamata *idrostatica* (fig. 88), con pesare un corpo prima nell'aria e poi nell'acqua o in altro liquido. Abbiansi inoltre due cilindri di ottone o di altra materia, l'uno pieno B, l'altro cavo A, nel quale però il primo entri esattamente a capello. Si sospenda ad uno de'piatti della bilancia il cilindro cavo A e si stabilisca l'equilibrio; ad esso poi inferiormente si unisca il cilindro pieno B e si pesi nell'aria. Se ora si appressi un vase con acqua, e vi s'immerga il cilindro B sollevando ed abbassando con arte mercè il bottone C la forchetta D, la bilancia trabocca dal lato opposto, e per ristabilire il turbato equilibrio conviene riempire d' acqua il cilindro vuoto A.

Adunque se la densità del corpo solido è maggiore di quella del liquido, esso discenderà con la differenza de'due pesi sino a trovare un ostacolo che lo trattenga. Se la densità è uguale, allorchè

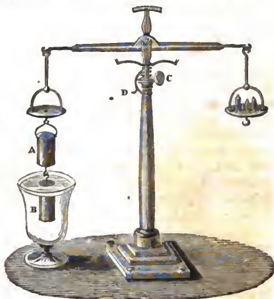


Fig. 88.

tutto sarà immerso resterà in equilibrio, e lo sarebbe ugualmente a qualunque profondità venisse collocato; appunto come avverrebbe ad una parte del liquido stesso, che senza alterazione di densità venisse a solidificarsi. Se poi la densità del solido è minore, il suo peso sarà anche da meno della spinta del liquido, e galleggerà.

132. Equilibrio de'galleggianti. Allorchè un solido immerso meno denso del liquido viene spinto in su, dal momento in cui comincia ad emergere dalla superficie di livello, diminuisce per gradi la spinta sino a pareggiare il peso del solido. Allora il galleggiante resterà in equilibrio. Per l'equilibrio dunque dei galleggianti si richieggono le due condizioni seguenti :

1.ª Il peso del galleggiante deve uguagliare il peso del liquido spostato dalla porzione immersa.

2.ª Il centro di gravità del solido, e 'l centro di pressione, ossia il centro di gravità del liquido spostato, debbono trovarsi nella medesima verticale.

In quanto alla seconda condizione si osservi, che com'è enunciata è sufficiente per l'equilibrio; ma per l'equilibrio stabile richiedesi inoltre che o il centro di gravità del corpo immerso sia al di sotto del centro di pressione, o almeno sotto il così detto *metacentro*, che è il punto, nel quale la direzione della spinta incontra il piano di simmetria del corpo immerso. Ed in vero s'immerga nell'acqua in primo luogo (fig. 89) un cilindro da poter galleggiare formato di due sostanze molto differenti in densità, ad esempio metallo e legno. Il centro di gravità dell'intero sistema sarà in *g* molto basso, ed inferiore al centro *c* del volume del liquido spostato. E però se l'asse non è verticale, il peso e la spinta il condurranno a quella posizione, la quale costituirà un equilibrio stabile. L'equilibrio diverrebbe instabile se fosse il legno in giù. Sarebbe indifferente nel solo caso in cui e la figura del solido, ed il moto comunicatogli non alterassero la forma del liquido spostato; il che può avverarsi solo per un solido di rivoluzione omogeneo.



Fig. 89.

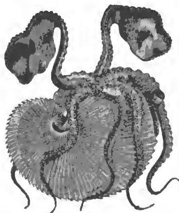
Ma se ponesi a galleggiare sull' acqua un corpo leggerissimo MN, un legno, un sughero, in forma di parallelepipedo schiacciato (fig. 90), sebbene, perchè pochissimo s' immerge, il centro di gravità del liquido spostato *p* sia al di sotto di quello del galleggiante *g*, pure questo di per se disponesi in equilibrio con le facce più ampie orizzontali, e rimosso da questa posizione vi ritorna.



Fig. 90.

133. Conseguenze ed applicazioni. Dalle teorie esposte si deduce, che il principio di Archimede d'una maniera generale può enunciarsi così. *Un solido immerso o galleggiante perde del proprio peso una parte uguale al peso del liquido spostato.* Inoltre il volume immerso d'un galleggiante è nella ragione diretta della sua densità, e nella inversa di quella del liquido. Quindi di due corpi, uno più pesante, l'altro più leggiero del liquido può formarsi un sistema galleggiante. Con ciò si spiega il fenomeno, che si avvera nel mollusco dell'*argonauta argo* (fig. 91), il quale se sporge dalla graziosa conchiglia aderendo all'orlo col lembo del

mantello, perchè non vi penetri acqua, galleggia, e quando poi per piacere o per timore vi si raccoglie si sprofonda ne'mari. Cotale fatto è ben più credibile dello spandere talune membrane e valersene come di vele, secondo che si racconta del mollusco abitatore del *nautilo* ne' mari della Cina.


Fig. 91.

Il *fantoccio di Cartesio* è un figurino di smalto congiunto a pallina vuota di vetro, o tutto vuoto con forellino da un lato: esercitando una pressione sull'acqua, in cui è immerso, discende perchè questa vi s' introduce, e poi sale novellamente al mancar della pressione.

In molti pesci è sottoposta alla colonna vertebrale nella cavità dell'addome una vescica ripiena d'aria, varia per grandezza forma e posizione: la chiamano il *notatoio*; e credesi che abbia per uffizio favorire il moto discendente o ascendente del pesce colle variazioni prodotte nella densità dell'aria in comprimersi o dilatarsi.

Il tenersi a galla sull'acqua senza avvertire alcuna maniera di moto, ma con la massima parte del corpo immersa, è ragione per opinare che il corpo umano sia un pochissimo più leggiero dell'acqua; si va a fondo per agitazioni anomale cagionate da timore, e vi si cambia sito con regolari movimenti nel *nuoto*, impiegando la forza muscolare, e le braccia o le gambe, come i pesci le *pinne*.

Una nave, comecchè di ferro e sovraccarica galleggerà finchè sposti un volume del liquido di peso uguale al proprio. Per la stabilità dell'equilibrio, ossia affinchè la nave non si rovesci (non *cappeggi*) comunque oscilli la *linea di fluttuazione*, si trasporta molto in giù il centro di gravità, caricando la carena di corpi molto pesanti, che costituiscono la *zavorra*; ma neppure con ciò si riesce ad abbassarlo sotto il centro di pressione, e conviene che la forma della nave sia tale da osservare la condizione spettante al *metacentro*.

Le *zattere di salvamento* formate di botti vuote, e quei tubi di pelle flessibili che ànno a'fianchi i naviganti per riempirli di presente col soffio in caso di sinistro e non affondare, ammettono facile spiegazione.

Ne'profondi abissi dell'oceano non discende lo *scandaglio*, perchè da una parte tanto smisurata lunghezza di corda leggiera, comunque unita al piombo, forma un sistema galleggiante; e dall'altra non può adoperarsi un masso pesante quanto sarebbe richiesto, chè al principio della immersione la corda si spezzerebbe.

PESO SPECIFICO.

134. Determinazione del peso specifico de' corpi solidi. Per determinare il peso specifico de'solidi mal si presta il metodo (57) di ridurli a forma, p. e. di centimetro cubico, per compararne il peso a quello di egual volume d' acqua distillata a 4°; la operazione sarebbe lunga, difficile, dispendiosa pe'corpi rari; e quel che più monta sovente erronea, chè la densità si altera col modo di lavorio. Sono invece speditissimi ed esatti i metodi fondati sul teorema di Archimede.

1. *Bilancia idrostatica*. Si determini prima con la bilancia il peso assoluto p del corpo; indi legatolo a filo tenuissimo s'immerga in acqua stillata, e si pesi di nuovo: la perdita ch' esso soffre sarà il peso p' di egual volume di acqua stillata. Dividendo dunque il primo pel secondo, il quoziente sarà il peso specifico cercato.

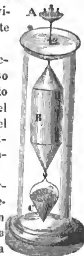


Fig. 92.

Se il corpo soffre comunque alterazione dall' acqua, se ne determini col metodo descritto il peso specifico p relativamente ad altro liquido del tutto inattivo; quindi si conosca il peso specifico p' del liquido trascelto riguardo all' acqua distillata nel modo che presto indicheremo; ed allora il prodotto pp' sarà il peso specifico del corpo in esame paragonato all'acqua distillata.

2. *Bilancia di Nicholson*. Componesi d' un serbatoio vuoto B (fig. 92) a pareti sottilissime di metallo o di vetro in forma di cilindro, con in giù un bacinetto C pesante a segno che mentre galleggia nell' acqua si tien verticale: in alto sostiene una coppa A per mezzo d' un tubo sottile, in cui v'è *un punto di affioramento o*. In quanto all' adoperarlo imaginiamo che per farlo immergere nell' acqua distillata insino al punto o convenga caricare la coppa A di un peso p, ad esempio di 15 centi-

grammi, e voglia determinarsi il peso specifico del platino. Si collochi in A un frammento di platino d'un peso minore di p, cosicchè per abbassarsi la bilancia fino ad o sia necessario aggiungere un peso $p'=4$ centigr.; è chiaro che il peso assoluto del frammento di platino sarà $p-p'=11$ centigr. Toltolo allora da A si ponga in C : si solleverà lo strumento così che per restituirlo alla prima posizione fa d'uopo aggiungere in A un novello peso p'', supponga-si $\frac{1}{2}$ centigrammo. Questo indicherà la perdita di peso che il frammento à sofferto nell'acqua, ossia il peso di egual volume di liquido. Laonde $\frac{p-p'}{p''}$, cioè $\frac{0^{gr.},11}{0^{gr.},005}=22$ sarà il peso specifico cercato del platino.

Perchè non isfuggano dalla coppa C i corpi più leggieri dell'acqua, essa è ricoperta da una rete metallica finissima.

3. *Metodo di Klaproth o della boccetta.* È anche molto usitata la maniera di Klaproth, che vale massimamente pe' corpi ridotti in minuta polvere. Riempita di acqua stillata una boccetta ed applicatovi il turacciolo, ed asciugatala, si pesi: quindi si pesi un frammento del corpo in esame; e finalmente introdotto questo nella boccetta e chiusala si pesi novellamente. È evidente che quest'ultimo peso non potrà pareggiare i due precedenti: la differenza sarà il peso del volume di acqua espulso dalla boccetta, e perciò uguale a quello del solido.

135. **Peso specifico de' liquidi.** Per determinarlo vi à parecchi metodi ed ordigni, alcuni generali, altri speciali.

1. *Bilancia idrostatica.* Legato a filo tenuissimo un corpo che non subisce alterazione dal liquido in esame, p. e. una piccola sfera di platino, si pesi nell'aria, nel detto liquido, e nell'acqua stillata. Le perdite di peso, che subirà il platino nelle ultime due pesate, saranno i pesi di volumi uguali del liquido e dell' acqua : e non converrà fare altro che dividere il primo pel secondo.

2. *Metodo della boccetta.* Riempita una boccetta di mercurio, si pesi: vuotatala si pesi il solo mercurio: la differenza tra i due pesi darà quello della boccetta. Ciò fatto, si pesi la stessa boccetta piena d'un dato liquido e poi di acqua, e da'due numeri ottenuti sottratto il peso della boccetta si avranno esattamente i pesi di volumi eguali di liquido e di acqua stillata.

3. *Areometro di Farhenheit.* È similissimo alla bilancia di Nichol-

son: à pure una coppa in alto ed un puuto di affioramento. Determinato il peso dello strumento p, s'immerga successivamente nel dato liquido e nell'acqua. Affinchè lo strumento discenda in essi fino al punto di affioramento sia necessario gravare la coppa le due volte de'pesi p', e p''. E chiaro che $p+p'$, e $p+p''$ rappresenteranno i pesi de'volumi spostati di liquido e di acqua.

4. *Areometri speciali.* I tre metodi indicati sono generali, si estendono cioè a tutt' i liquidi; inoltre danno direttamente il peso specifico, ossia la relazione tra la densità de'liquidi e quella dell'acqua stillata. Or nelle arti, nelle industrie, nella economia domestica v'è sovente bisogno di sapere immediatamente la densità assoluta, o il grado di concentrazione d' un dato liquore. Servono a tal uso gli areometri *speciali*, per l' ordinario di vetro, e tutti presso che ugualmente composti d' un cilindro vuoto A (fig. 93), avente in giù una piccola sfera C con mercurio o piombo per godere nella immersione di equilibrio stabile, e in alto un tubo B con entro la scala di graduazione. Si distinguono dalla bilancia di Nicholson e dall'areometro di Farhenheit in ciò, che questi due s'immergono costantemente sino al medesimo puuto e si gravano per ciò di pesi differenti secondo la varia densità de' liquidi, donde sono detti *a volume costante e peso variabile*; mentre gli altri conservano lo stesso peso, e a norma dell'immergersi più o meno rivelano la densità de'liquidi, per che si chiamano areometri *a peso costante e volume variabile*. Talvolta nel serbatoio inferiore racchiudesi un termometro per osservar la temperatura. Anno vario nome di *pesa-alcole, pesa-mosto, pesa-acidi, pesa-urina, pesa-latte*, e anche graduazione differente secondo gli usi. Basti accennare i seguenti.



Fig. 93.

Areometro di Beaumé. Allorchè serve pe'liquidi più densi dell'acqua distillata, lo zero della scala o il punto di affioramento nell'acqua è in alto: e si denota con 15 il punto della immersione in un liquido formato di 15 salmarino sciolto in 85 di acqua: si divide l' intervallo in 15 parti, e si continua la graduazione nel resto del tubo. Pe'liquidi meno densi dell'acqua lo zero è in basso e corrisponde al punto della immersione in una soluzione di 10 salmarino e 90 di acqua: si nota 10 al punto di affioramento nell'acqua, e nel resto si divide la scala come sopra.

Areometro di Cartier. I due termini sono zero per l'acqua distil-

lata e 10 per una soluzione di 15 salmarino in 85 di acqua alla temperatura di 15°.

Areometro centesimale o *alcolimetro di Gay-Lussac*. Serve per dare immediatamente la proporzione di alcole e di acqua in una soluzione alcolica. Il 100 è in alto e corrisponde al punto d'immersione nell'alcole puro: si fanno poi delle mescolanze di 95, 90, 85, 80,.... parti di alcole, e 5, 10, 15, 20,.... di acqua, e immerso in esse successivamente l'alcolimetro, si segnano per ordine i punti di affioramento co'numeri 95, 90, 85, 80,....; da ultimo dividendo ogni intervallo in 6 parti uguali la intera graduazione è compiuta.

Tavola del peso specifico de'solidi a 0° preso per unità quello dell'acqua distillata a 4°

Platino laminato . .	23,0000	Zinco fuso . . .	6,8610
— tratto alla filiera .	21,0417	Antimonio fuso. . .	6,7120
— battuto . . .	20,3367	Tellurio	6,1150
— fuso . . .	19,5000	Cromo	5,9000
Oro battuto . . .	19,3617	Jodo	4,9480
— fuso . . .	19,2581	Baritina (spato pesante) .	4,4300
Iridio	18,6000	Giargone di Ceylan . .	4,4161
Tungsteno . . .	17,6000	Rubino orientale . .	4,2838
Piombo fuso . . .	11,3522	Topazio orientale . .	4,0106
Palladio	11,3000	— di Sassonia . .	3,6640
Rodio	11,0000	Berillo orientale . .	3,5489
Argento battuto . .	10,5110	Diamanti { più pesanti .	3,5310
— fuso . . .	10,4743	Diamanti { più leggieri .	4,5010
Bismuto fuso . . .	9,8220	Flint-glass . . .	3,3295
Rame tirato alla filiera .	8,8785	Fluorina (spato fluore) .	3,1911
— fuso . . .	8,7889	Tormalina . . .	3,1555
Molibdeno . . .	8,6110	Zaffiro del Brasile . .	3,1307
Arsenico	8,3080	Asbesto	2,9958
Ottone tratto alla filiera .	8,5440	Cristallo di Francia . .	2,8920
— fuso . . .	8,3950	Marmo statuario . .	2,8370
Nichelio fuso . . .	8,2790	Onice	2,8160
Uranio	8,1000	Smeraldo. . . .	2,7755
Manganese . . .	8,0130	Perle	2,7500
Acciaio non temperato .	7,8330	Carbonato di calce crist. .	2,7182
— temperato . .	7,8170	Quarzo diaspro. . .	2,8101
Cobalto fuso . . .	7,8119	Corallo	2,6800
Ferro in barre . . .	7,7880	Cristallo di rocca puro .	2,6530
— fuso . . .	7,2070	Quarzo agata . . .	2,6150
Stagno fuso . . .	7,2914	Feldspato limpido . .	2,5644

Vetro di Saint-Gobain .	2,4882	Ghiaccio nel fondersi .	0,9300
Porcellana di China . .	2,3847	Potassio	0,8631
Gesso cristallizzato . .	2,3117	Legno di faggio . .	0,8520
Porcellana di Sèvres. .	2,1457	— frassino . . .	0,8450
Solfo nativo . . .	2,0332	— tasso . . .	0,8070
Avorio	1,9170	— olmo . . .	0,8000
Alabastro	1,8740	— melo . . .	0,7330
Antracite	1,8000	— arancio . . .	0,7050
Allume	1,7200	— abete giallo . .	0,6570
Litantrace compatto . .	1,3292	— tiglio . . .	0,6040
Succino	1,0780	— cipresso . .	0,5980
Sodio	0,9726	— cedro . . .	0,5610
Cera bianca . . .	0,9660	— pioppo ordinario .	0,3830
Sego	0,9420	Sughero . . .	0,2400

Tavola del peso specifico de' liquidi a 0°
preso per unità quello dell'acqua distillata a 4°

Mercurio	13,5988	— di Borgogna . .	0,9915
Bromo	3,1872	Olio di olive . . .	0,9150
Acido solforico monoidrato	1,8410	— di lino . . .	0,9400
Acido azotoso . . .	1,5500	Etere cloridrico . .	0,8740
Acqua del mare morto .	1,2403	Essenza di terebintina .	0,8697
Acido cloroidrico . .	1,2300	Petrolio purificato . .	0,8475
— azotico . . .	1,2170	Essenza di corteccia d'a-	
Acqua di mare . . .	1,0263	rancio	0,8359
Latte	1,0300	Spirito di legno. . .	0,8207
Acqua distillata a 0°. .	0,9990	Alcole assoluto. . .	0,7920
Vino di Bordeaux . .	0,9939	Etere solforico . . .	0,7155

FENOMENI CAPILLARI.

136. Nozioni della capillarità e modo di sperimentare. Alle leggi esposte sin qui sulla superficie di livello e sulle pressioni dei liquidi sembra che facciano eccezione i fenomeni della *capillarità*, così detti poichè massimamente si avvertono ne' tubi di piccolissimo diametro. Ma l' anomalia è solo apparente, come presto vedremo.

In quanto al modo di sperimentare conviene assicurarsi in primo luogo che il tubo sia ben calibrato, e bisogna conoscerne il diametro. Se il tubo è calibrato si rileva introducendo da un lato una

goccia di mercurio, e spingendola lungh'esso il tubo si osservi se ne occupa la stessa porzione dovunque. Si misura poi il diametro o direttamente valendosi d'un micrometro e d'una camera lucida, o pure deducendolo dal peso del mercurio che riempie una determinata lunghezza di tubo. (*)

Tra gli apparecchi adatti a studiare i fenomeni de'tubi capillari è ottimo quella di Gay-Lussac (fig. 94). Essoconsiste in largo provino AB poggiato su treppiede a viti calanti per disporlo verticale, e d'un catetometro D munito del piombino P e d'un cannocchiale C a corto foco con micrometro. Se nel provino si versa p. e. dell' acqua ed in questa immergasi il tubo capillare T tenuto fermo dalla tavoletta E, l'acqua ascende in m. Per misurare la differenza di livello mn, si dirige prima un raggio visuale in m, e si nota tal punto; quindi si scosta da un lato la tavoletta E diunita al tubo, e nel sito di quella si pone la verga FG, la quale potendo mercè una vite F salire o discendere deve toccare con la punta G il livello n. Affinchè poi il liquido circostante non impedisca di scovrire la punta G al suo posto, con tubo aspirante si toglie tant'acqua quanta occorre. Ciò fatto si dirige il secondo raggio visuale in n, e si avrà la voluta altezza.

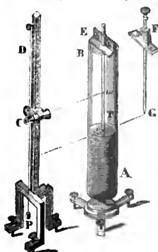


Fig. 94.

137. Fatti e leggi. 1. Immergasi in un liquido un corpo atto ad esserne bagnato, p. e. una lamina di vetro in acqua: la superficie liquida, in cambio di rimanere piana, sollevandosi nelle vicinanze di quella, e poggiandovisi si trasformerà in superficie concava. Se poi la sostanza della lamina non è atta ad essere bagnata

(*) Rappresentino p, v il peso e 'l volume del mercurio, che occupa una lunghezza l del tubo, d la sua densità, r il raggio del tubo, che vogliam supporre cilindrico; avremo (56) $p=vd$, e dalla geometria $v=\pi^2 rl$; adunque la prima equazione diventerà $p=\pi r^2 ld$, donde

$$r=\sqrt{\frac{p}{\pi ld}}.$$

dal liquido, p. e. vetro nel mercurio, questo si deprimerà assumendo forma convessa.

2. Sieno due le lamine A, B (fig. 95) atte entrambe ad essere bagnate dal liquido ED: questo si solleverà in *n*, *m*, e nel suo mezzo C riterrà la superficie piana; ma se la distanza a cui sono collocate nel liquido le due lamine è minore della somma de'due rag-

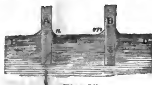


Fig. 95.



Fig. 96.

gi di curvatura che presentano le superficie concave *m*, *n*, la porzione C formerà parte della superficie concava, ed il liquido si solleverà tra le lamine (fig. 96) prendendo forma di mezza superficie cilindrica; l'altezza a cui giunge il liquido al disopra del livello esterno ED è in ragione inversa della distanza tra le lamine. Se queste poi non si bagnano, il liquido tra loro si deprime al disotto del livello esterno con forma di mezza superficie cilindrica convessa.

3. Se due lamine inclinate tra loro AB,AC (fig. 97) immergansi in un liquido che le bagni, e così che la linea d'incontro sia verticale, il liquido tra esse si solleverà verso lo spigolo con in su una superficie concava, di cui la sezione verticale avrà forma di *iperbole equilatera*. Se le lamine non si bagnano, il liquido del pari si deprimerà verso lo spigolo con la stessa forma di curva ma con superficie convessa.

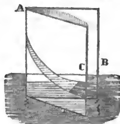


Fig. 97.

4. Immergasi un tubo di picciol diametro in un liquido: la superficie di questo prenderà nel tubo forma di mezza sfera concava o convessa secondo che è atto o pur no a bagnarlo; si solleva al di sopra del livello esterno o si deprime sott' esso, e la differenza di livello in ambo i casi è doppia di quel che sarebbe tra due lamine (2) collocate a distanza uguale al diametro del tubo.

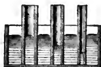
5. L'innalzamento (fig. 98) e la depressione (fig. 99) sono in ragione inversa del diametro del tubo, e della temperatura del liquido.

5. L'innalzamento e la depressione sono differenti con la natura de'vari liquidi. Infatti rappresentando 100 l'altezza a cui giunge l'ac-

qua in un dato tubo di vetro, sarà 88 quella d'una soluzione satura di salmarino, 40 per l'alcole, 37 per l'olio di lavanda; e poichè i pesi specifici di questi liquidi sono 4,1.3,0.792,0.870 si deduce altresì che le altezze non ànno veruna relazione colle densità.

7. L'innalzamento e la depressione sono indipendenti dalla natu-


Fig. 98.


Fig. 99.

ra e densità del mezzo gassoso in cui si opera, ed avvengono somigliantemente nel vuoto.

8. È pure senza influenza la spessezza della lamina o del tubo; che se questi pria si bagnino di quel determinato liquido, il fenomeno è indipendente altresì dalla sostanza di che sono formati.

138. Cagione della curvatura, e sua influenza in produrre l'innalzamento o la depressione. I fenomeni capillari debbono attribuirsi unicamente all'attrazione del solido sul liquido, e delle molecole liquide tra loro. Queste due forze rendono la superficie liquida concava o convessa: è poi conseguenza della concavità o convessità l'innalzamento o la depressione.

Dimostriamo a parte il primo e 'l secondo teorema.

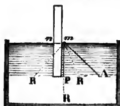


Fig. 100.

1. Per intendere come si renda la superficie liquida concava o convessa, si consideri una sua molecola superficiale *m* (fig. 100) presso una lamina solida. Essa è sottoposta all'azione di tre forze; cioè del suo peso secondo la verticale *m*P, della coesione per la massa liquida che la trae secondo *m*A, e dell'adesione pel solido che agisce secondo *mn*. La risultante di queste tre forze sarà diretta variamente a norma della loro intensità relativa; e la superficie liquida, che deve per l'equilibrio esserle perpendicolare (129), prenderà forma e posizione differente. E in 1° luogo, se le due forze *m*A, *mn* sono così tenui al confronto di *m*P, o così compensate tra loro che la risultante comune *m*R vada secondo la *m*P, la superficie sarà piana e orizzontale. 2.° Se per la intensità maggiore di *mn* o minore di *m*A la risultante R è diretta secondo *m*R' nel-

l' angolo *nm*P, la superficie liquida presso la lamina sarà concava. 3.° Se finalmente per la intensità maggiore di *m*A o minore di *mn* la risultante R si dirige secondo *m*R'', la superficie sarà convessa (*).

2. A persuadersi che la concavità e convessità cagionino il sollevamento e la depressione, esaminiamo le forze dipendenti dalla forma d'una superficie liquida piana, convessa e concava. Abbiasi per ciò un liquido terminato da superficie piana AB (fig. 101); sia *mm'* il raggio della sfera d' azione delle molecole liquide tra loro, ossia la distanza a cui si estende la forza di coesione, e consideriamo l' effetto delle attrazioni verticali. Una molecola *m*, che dista dalla superficie appunto quanto il raggio d' attività, sarà attratta ugualmente dalle due molecole equidistanti *m'*, *m''*, e similmente da tutte le intermedie, in direzioni opposte, e resterà in equilibrio; dicasi altrettanto di tutte le molecole sottoposte ad *m*. Non è però così delle molecole che sono nella superficie AB, le quali risentono un'attrazione in giù non distrutta da alcuna forza opposta; e vale in parte il medesimo per tutti gli strati molecolari paralleli alla superficie e situati tra *m* e *m'*. Tutte queste molecole sono spinte in basso come se operasse sul liquido una pressione *p* di fuori in dentro: tale pressione *p* corrisponde alla superficie piana.



Fig. 101.

Intendasi ora condotta nell' istesso liquido una superficie sferica EDC (fig. 102), che separi il *menisco* liquido ABCDE dalla massa terminante con la superficie convessa CDE; e determiniamo l' azione del menisco sul liquido residuo. Le due molecole superficiali *m'*, *m''* equidistanti dall'asse DF attraggono obbliquamente la molecola *m* sita nella loro sfera d'azione secondo *mm'*, *mm''*; decomposta ciascuna forza in due, una orizzontale, l' altra verticale, le due orizzontali si elidono e restano le due verticali di sotto in sopra non distrutte da alcuna forza opposta. Se tale ragionamento

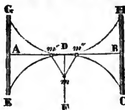


Fig. 102.

(*) Si dimostra col calcolo che la superficie è piana quando la coesione del liquido è doppia della sua adesione pel solido; è poi concava o convessa quando è minore o maggiore che il doppio.

si estenda all'attrazione di tutte le molecole del menisco per quelle della massa EDCF site nella sfera d'azione, si dedurrà che l'azione del menisco sovr'essa eqnivale ad una forza che tende a sollevarla, ad una pressione diretta di sotto in sopra, e noi la diremo $-q$.Questa pressione $-q$ è funzione della curvatura, e si dimostra col calcolo essere tanto più valida quanto è minore il raggio di quella.

Adunque poichè un liquido terminato dalla superficie convessa CDE può riguardarsi come se dalla snperficie piana AB siasi tolto il menisco ABCDE, la pressione che gli corrisponde sarà p meno l'azione $-q$ del menisco, e però $p+q$. E parimenti poichè il liquido a superficie concava GDH equivale ad nn liquido terminato dalla superficie piana AB col menisco sovrapposto GDHBDA, soffrirà insieme le pressioni della superficie piana e del menisco, cioè $p-q$.

Or dall'essere le pressioni sostenute da una superficie convessa o concava, maggiori o minori di quelle che corrispondono a superficie piana, si rende agevole intendere la dipendenza tra l'innalzamento o depressione e la forma della superficie. Infatti se un tubo capillare di vetro s'immerge in acqna contenuta in largo cilindro, una sezione qualnnque di liquido nel tnbo sotto il livello esterno sosterrà dal liquido esterno la pressione p, e dall' interno $p-q$; e poichè ad aversi eqnilibrio le pressioni opposte debbono pareggiarsi, l'acqua salirà nel tubo così, che l' eccesso della colonna liquida abbia nn peso eguale a q. Similmente nel caso del mercurio nna sezione liquida sostiene dall'esterno la pressione p, e dall'interno $p+q$; laonde per l'equilibrio si abbasserà il mercurio sotto il livello esterno così che la colonna depressa abbia un peso q.

Esperienze di Abat. Ci piace agginngere le segnenti esperienze di Abat (*), che rendono anche più evidente l'argomento in esame. Si versi acqua nel tubo di vetro calibrato AB (fig. 103) piegato ad arco; dapprima il liquido ascende ugualmente da ambo i lati, perchè si termina in essi con pari superficie concava; ma quando à raggiunto l'orlo del ramo corto, quivi si diminuisce per gradi la concavità della superficie liquida sino a divenir piana, e cresce il livello nel ramo lungo in cui conserva la concavità primitiva, come lo indica il tubo CD: le pressioni in questo secondo caso sono

(*) Amusemens philosophiques sur diverses parties des sciences. Amsterdam 1763 expér. XII.

p nel ramo corto, $p-q$ nel lungo. Finalmente continnando ad aggiungere acqua goccia a goccia pel tubo lungo, la superficie in F diviene convessa, e però in E si solleva maggiormente, e quando le curvature della convessità in F e della concavità in E si uguagliano, la differenza di livello nel tubo EF sarà doppia di quel che era in CD. Ed in vero essendo le pressioni ne'due rami del tubo EF $p-q$ e $p+q$, la differenza è $2\,q$, cioè doppia della differenza tra le pressioni ne'due rami di CD.



Fig. 103.

139. **Conseguenze delle teorie esposte.** 1. *Attrazioni e ripulsioni apparenti ne' solidi e ne' liquidi.* Se in un liquido immergonsi a piccolissima distanza due lamine non atte a bagnarsi, si congiungono come per attrazione; poichè deprimendosi fra esse il livello, vi saranno sulle due lamine pe'medesimi strati orizzontali de'punti che nell'interno non sono a contatto del liquido, sibbene all'esterno; in tali punti quelle sono spinte dall'esterno verso l'interno, e si appressano. Succede il medesimo se ambe le lamine sono bagnate; poichè il liquido tra esse si solleva come per forza di aspirazione, di cui la intensità uguaglia il peso della colonna sollevata; adunque pe' punti al di sopra del livello esterno, le lamine sono spinte in dentro con tutta la pressione p comunicata loro dal liquido sottoposto, e in fuori con pressione minore come quella che vien prodotta da una colonna liquida interna meno alta della necessaria all'equilibrio. Se finalmente delle due lamine una sola si bagni, il liquido sollevandosi contro essa, e abbassandosi verso l'altra, presenterà come un punto d'inflessione; la opposizione delle due curvature ne renderà ciascuna minore, il liquido tenderà a riprendere la superficie piana, e le lamine si scostano come se mutuamente si respignessero.

Ben si osserva il fenomeno ponendo a galleggiare sur un liquido de' corpicciuoli leggieri. Due globetti di sughero bagnati dall' acqua (fig. 104) sembrano attrarsi; come pure se entrambi si ungono con sostanza grassa perchè non si bagnino, o si sparge sull' acqua della polvere minutissima come quella di licopodio, che impedisce il contatto (fig. 105); e sembrano ripellersi quando se ne unge un solo, o si usa una pallina di cera e una di sughero (fig. 106).

È anche singolare la maniera di movimento come per attrazione

che si osserva ne' liquidi. Se in un tubo di vetro a cono tronco (fig. 107) o tra due lamine inclinate si pone una goccia di mercurio, questa si muoverà avanzandosi verso la base più ampia. Poichè le due pressioni *n*, *m*, derivanti dalla convessità delle superficie sono ineguali: *n* è maggiore, come quella che corrisponde al più piccolo raggio di curvatura, ed è diretta di fuori in dentro. Nelle medesime condizioni una goccia d'acqua si muove verso la base minore (fig. 108), poichè è anche più valida in *n* la influenza della curvatura, ma questa equivale ad un' aspirazione ed è diretta di dentro in fuori.



Fig. 104.



Fig. 105.

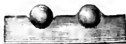


Fig. 106.

2. *La capillarità impedisce talvolta il cadere de' liquidi.* Lo stesso tubo a cono dell' ultima esperienza dispongasi coll' asse verticale; se le sezioni sono abbastanza piccole, non cadrà il mercurio quando è rivolta in giù la base minore *n*, e sarà invece trattenuta l'acqua quando è al basso la sezione maggiore *m*.



Fig. 107.



Fig. 108.

Immergasi in acqua e poi lentamente se ne sollevi un tubo capillare: vi si manterrà una colonna d' una lunghezza doppia della differenza di livello allorchè il tubo vi era immerso. Nel primo caso la differenza di pressione è dovuta a due superficie concava e convessa; mentre nell'altro a due superficie piana e concava.

Può tenersi agevolmente una considerevole quantità di mercurio in uno staccio senza che cada; ma reca più maraviglia il potersi trasportare anche dell'acqua tra due stacci senza versarne, purchè sia in giù il più raro, e in alto il più fitto.

Dalle quali cose si comprende che immergendo nell'acqua un tubo capillare con porzione sporgente minore di quella, a cui il liquido ascenderebbe, l'acqua non può mai per sola capillarità superare l'orlo e versarsi. Poichè dovrebbe colà conformarsi prima in superficie piana, e quindi convessa; il che vi produrrebbe una pressione uguale alla esterna e poi maggiore, e perciò non un sollevamento ma depressione. Invece allorchè à raggiunto l'orlo, la concavità si rende minore, e l'equilibrio è stabilito.

3. *Modificazione della teoria de' galleggianti*. La depressione del liquido presso un solido non atto a bagnarsi fa che se ne sposti un volume maggiore, per che viene ad accrescersi la spinta fino a poter galleggiare de' corpi specificamente più pesanti. Così un sottile ago da cucire unto col solo strofinio delle dita si tiene sull'acqua. E con ciò pure si spiega il galleggiare dell'*hydrometra stagnorum* (fig. 109), e di altri insetti affini: i *tarsi* a contatto dell'acqua sono in condizioni favorevoli per non essere bagnati, e l'insetto è in equilibrio allorchè il suo peso uguaglia quello del liquido depresso. A questa depressione è dovuta quella specie di ombra duplicata che si osserva presso il tarso della hydrometra come se trasportasse attaccato un corpo bilobo, o due dischi.


Fig. 109.

Per converso allorchè il galleggiante vien bagnato dal liquido, questo si poggia sovr'esso e ne rende maggiore la immersione.

140. Endosmosi ed esosmosi. Endosmometro di Dutrochet. Se due liquidi in date circostanze sono separati da una membrana, si produce attraverso questa una doppia corrente in senso opposto di varia intensità. L'*endosmometro* di Dutrochet (fig. 110) consiste in un recipiente a modo d'imbuto A, al cui collo *a* è unito un tubo BC e inferiormente invece del fondo è legata una membrana. Riempiasi il serbatoio A e parte del tubo di soluzione di salmarino p. e., e poi raccomandato lo strumento a un sostegno immergasi in acqua stillata. Dopo qualche tempo si vedrà sollevare il liquido interno nel tubo: dunque l'acqua v'è penetrata; ma versando nella vasca sottoposta qualche goccia di soluzione d'azotato di argento, l'acqua di essa biancheggia, il che indica presenza del salmarino;

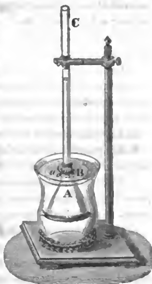


Fig. 110.

dunque una corrente di dentro in fuori, ma più debole dell' altra. Dutrochet chiamò *endosmosi* o corrente *in dentro* la prima, *esosmosi* o corrente *in fuori* la seconda (*).

Condizioni e leggi. 1. Perchè avvenga endosmosi è necessario che i due liquidi sieno atti a mescersi; così non succede tra acqua e olio; sibbene tra gli oli fissi e i volatili, e tra essi e l'alcole.

2. La forza e la velocità delle due correnti, finchè la natura dei liquidi rimane la medesima, corrispondono alla differenza delle loro densità; così tra acqua e soluzione salina sono in ragione della concentrazione di questa. Ma tra liquidi diversi la loro densità relativa è senza influenza; infatti la corrente più forte è nella medesima direzione dall' acqua così nelle soluzioni di zucchero, di albumina ec. che sono più dense, come nell'alcole e nell'etere più rari.

3. Dutrochet riconobbe esservi de'liquidi *attivi*, come le soluzioni di zucchero, di gomma, di gelatina, di albumina; degli *inattivi*, quali l'acido solforico, e la soluzione di gas solfidrico, che arrestano anche la corrente se vengono aggiunti quando l'endosmometro è in azione; e finalmente degli altri che pria l' accelerano e poi la indeboliscono come l'alcole e le soluzioni saline. Forse la inerzia è dovuta a correnti opposte di uguale intensità.

4. La direzione e la intensità della endosmosi non è in relazione con la maggiore virtù ascendente de' liquidi ne'tubi capillari. Varî acidi ascendono per capillarità meno dell'acqua stillata, e purtuttavolta si produce endosmosi da quelli a questa.

5. La endosmosi si accresce coll'aumento di temperatura.

6. La quantità della endosmosi è proporzionale all'ampiezza della membrana, e quindi della superficie di contatto tra i due liquidi.

7. Non solo le membrane animali sono adatte alla endosmosi, ma pure le vegetali, e financo le minerali, come lamine sottili di arenaria, di porcellana porosa, e simili.

Cotale enumerazione di fatti e di leggi indica bene una certa relazione tra la endosmosi e la capillarità, poichè la membrana porosa equivale ad un sistema di tubi capillari, e deve essere adatta a imbeversi de' vari liquidi; ma rivela eziandio che male si attribuirebbero alla sola capillarità, soprattutto quelli de' numeri 4 e 5; molto più se ricordiamo che per capillarità i liquidi mai non sorpassano l'orlo del foro. Quindi il Dutrochet chiamò *intra-*

(*) Da ενδω *dentro*, εξω *fuori* e ωσμωσις *corrente*.

capillare la forza che produce la endosmosi, convenendo non essere già l' attrazione capillare conosciuta sin oggi. Si attribuì la endosmosi ad elettricità di contatto de' liquidi eterogenei e capace di operarne il trasporto, o anche alla virtù delle due facce d' una membrana d'imbeversi diversamente de' due liquidi, e altre opinioni furono emesse; ma nessuna, convien dirlo, è appieno soddisfacente.

Assorbimento e imbibizione. Dalla capillarità sola, o anche dalla endosmosi ripetonsi parecchi fenomeni naturali o opera d'arte, in cui una sostanza liquida penetra ne'pori d'un'altra. Il fatto chiamasi *assorbimento* o *imbibizione*, le quali due voci in fisica valgono il medesimo, ma in fisiologia la parola assorbimento indica un fatto dipendente da forza vitale, non così la imbibizione.

Sono esempi di assorbimento, oltre quelli citati altrove (8), l'ascendere dell'olio ne'lucignoli, il bagnarsi tutto un mucchio di cenere di cui la sola base sia a contatto del liquido, e somiglianti; poichè esistono tra le fibre o tra le molecole aggruppate innumerevoli filetti capillari avvolti a spira, paralleli, o senza legge tortuosi. Allorchè un liquido si spande per carta o per un fitto tessuto rimane sovente una macchia all' orlo, perchè quello trasporta seco infiltrandosi delle minime parti eterogenee, che o incontra ne' pori, o teneva sciolte o sospese, e colà le deposita evaporandosi.

Le piante assorbiscono il succo per la estremità delle radici tra per capillarità e per endosmosi: lo elaborano, lo addensano; dura l'assorbimento e l'ascensione pel vuoto che si genera evaporandosi il succo per le fogfie. Hales à renduta sensibile questa successione di operazioni così: reciso il tronco d'una pianta, e unitolo da un lato a un tubo di vetro legandovi attorno fortemente una membrana, si colmi questo d' acqua, e poi si rovesci con arte in una vaschetta con mercurio: dopo qualche tempo il mercurio ascende nel tubo perchè l'acqua è stata assorbita: se al tronco si lasciano le foglie l'ascensione è più durevole. Si osserva anche abbastanza se il tronco è capovolto. È oltremodo ingegnosa e profittevole l' applicazione ideata da Boucherie di Bordeaux, che facendo assorbire a' legni diverse soluzioni saline dà loro colori più vivi e svariati, e li rende più adatti alla conservazione. Assai più energici sono i fenomeni di assorbimento negli animali.

IDRODINAMICA

141. Scolo de' liquidi dai recipienti. Moto interno. Vena liquida, sua forma. Dicesi *idrodinamica* il trattato del moto de' liquidi. Fatto un foro alla parete d'un vase, ed il liquido immantinente ne verrà fuori tra pel suo proprio peso e per la pressione della massa sovrastante. Presenta inoltre speciali movimenti anche prima di escire del foro, che bene si avvertono ponendo nel liquido una polvere presso a poco della sua densità e insolubile, ad esempio segatura di legno o una polvere resinosa se trattasi di acqua, o anche meglio rendendola leggermente bianca con qualche goccia di soluzione d' acetato di piombo, o pure di azotato d' argento con un pizzico di salmarino. A questo modo si avverte che le molecole in appressarsi al foro di uscita vi si precipitano, e i filetti liquidi, che sino ad una certa distanza scendevano verticali, si ripiegano da tutt'i lati verso il centro di quello. Epperò la corrente prende colà forma di conoide, detta *gorgo* da Giovanni Bernoulli che scoperse tal fatto, avente una sezione del recipiente per base superiore, e la sezione del foro per base inferiore. Il livello rimane orizzontale quando dista molto dall'orifizio; in altro caso il liquido si deprime soltanto se l' orifizio è alla parete laterale del vase, e, se è al fondo, le molecole si distaccano dall'asse del foro, e costituiscono quella specie d'imbuto, al quale Newton diè nome di *cateratta*.

Il liquido che scorre da un recipiente è ben lungi dal ritenere la sezione della *vena* uguale alla sezione del foro di uscita. Anzi solamente quando il foro è circolare e in parete sottile, sono simili le due sezioni. In generale i filetti liquidi traversato l'orifizio seguitano a convergere, e la vena si contrae. La *contrazione* varia secondo la direzione del getto. Se questo è di sopra in sotto l'area della vena contratta è 0,64 della sezione del foro ad una distanza quasi uguale al diametro di questo; se dal basso all' alto, o pure obbliquamente all'orizzonte ma con inclinazione maggiore di 45°, v'è un massimo di contrazione oltre il quale si slarga di nuovo.

La vena a diversa distanza dal foro si presenta in due modi diversi. La parte prossima a quello è diafana, e sembra immobile come cristallo; la seconda è torbida ed opaca (fig. 111). Questa differenza è dovuta all'essere continua la prima, discontinua l'altra e

formata di gocciole disgiunte alternamente schiacciate or nel diametro verticale, or nell'orizzontale. Che sia discontinua si deduce dall' essere visibili gli oggetti che sono di là attraverso essa, anche quando vien costituita da un liquido opaco come il mercurio; e se sperimentasi al buio e si rischiara la vena con la luce d'una scintilla elettrica balenante in un attimo, si veggono le gocciole schiacciate in vario senso occupare sempre la stessa posizione; da che si argomenta che le stesse porzioni di liquido prendono successivamente quelle varie forme.


Fig. 111.

La ragione di questo fenomeno, nel quale l'aria non à influenza di sorta, è la seguente. La velocità delle molecole è decrescente dal centro dell'orifizio all'orlo per l'attrito che quivi sopportano, e per la obbliquità de' filetti liquidi; quindi la contrazione della vena. Di qui pure una successione periodica di pulsazioni all'orifizio, le quali producono de' rigonfiamenti annulari lungo la parte limpida della vena, e propagandosi crescono di mole e distaccandosi gli uni dagli altri ingenerano la vena torbida. Il numero di queste oscillazioni in un dato tempo è proporzionale alla velocità dello scolo, ed è in ragione inversa del diametro del foro. Sono esse abbastanza rapide per produrre un suono, e la loro ampiezza può essere alterata comunicando alla massa stessa del liquido o al recipiente delle vibrazioni della medesima durata, o col contatto immediato d'altro corpo vibrante o per mezzo dell'aria. Il suono d'uno strumento unisono alla vena giunge a fare sparire quasi completamente la parte limpida, mentre i ventri della vena torbida acquistano una regolarità di forma e anche una trasparenza che per l'ordinario non ànno, senza che punto si alteri la portata.

142. Teorema di Torricelli, velocità teoretica e reale. *La velocità con la quale un liquido si versa da un foro praticato nella parete d'un recipiente è quella cui un grave acquisterebbe cadendo liberamente nel vuoto da un'altezza uguale alla distanza tra superficie di livello e centro del foro.* Questo è il rinomato principio di Evangelista Torricelli; nel 1643 ei lo dedusse dalle leggi della caduta de' gravi discoperte dal genio di Galilei suo maestro,

prescindendo dalla pressione dell'aria, e da altra cagione perturbatrice; esso esprime la *velocità teoretica*. Dicesi *portata* d'un orifizio il volume di fluido che ne esce in 1''. Cosicchè se di fatto la velocità di tutte le molecole fosse dovuta alla intera altezza, e se da tutt'i punti dell'orifizio ne uscissero filetti paralleli tra loro, la portata sarebbe un prisma avente la sezione della luce per base, e per altezza lo spazio percorso in 1''.

Volendo confermare con la esperienza il teorema, abbiasi un serbatoio di grande capacità pieno d'acqua, e fattovi un foro circolare ad esempio, si raccolga il liquido escitone in un certo tempo: dando a questa massa forma d'un cilindro che abbia per base la sezione del foro, la lunghezza di cotale cilindro rappresenterà la *velocità reale*. Laonde dividendo la velocità reale pel numero de'secondi, ne'quali durò l'efflusso, il quoziente darà l'altezza del cilindro cioè la *portata reale*. Or una costante esperienza à dimostrato, che la portata e la velocità reali sono sempre minori della portata e della velocità teoriche. Ne è cagione la contrazione della vena, secondo Newton scopritore della contrazione e della sua influenza sulla portata. Epperò la espressione della velocità e della portata teoretica si trasformano in quelle della velocità e della portata reale moltiplicandole pel *coefficiente di riduzione* delle prime alle seconde, detto anche *coefficiente di contrazione* della vena fluida, chè uno è il valore di entrambi. Il valore medio di questo coefficiente è pure 0,64 o presso a poco 2/3, e i due limiti massimo e minimo sono 1,00 e 0,50, a cui si avvicinano assai dappresso senza mai pareggiarli (*).

143. Conseguenze del principio di Torricelli.

1. *Le velocità con cui sgorga un liquido da luci praticate a differenti altezze sono come le radici quadrate di queste altezze*; cosicchè se le cariche sono proporzionali ai numeri 1, 4, 9.......... le corrispondenti velocità saranno 1, 2, 3.......

2. *Il getto se con direzione orizzontale o obbliqua all'orizzonte*

(*) Sia a la carica ossia la profondità dell'orifizio, m il coefficiente di contrazione, s la sezione della luce; le velocità teoretica e reale saranno

$$v=\sqrt{2ga},\ v'=m\sqrt{2ga},$$

e però le due portate

$$q=sv=s\sqrt{2ga},\ q'=sv'=sm\sqrt{2ga},$$

e per avere il liquido fluito in un tempo t non si deve che moltiplicare per t.

prenderà figura parabolica, e se anche verticale di sotto in sopra ascenderà ad un'altezza uguale alla carica. L'uno e l'altro avverrebbe secondo teoria. In effetto però la traiettoria de'liquidi, come quella de'solidi (72), si allontana molto da una parabola per la resistenza dell'aria; e tra per questa, e per l'attrito all'orifizio, e per l'impedimento cagionato dal liquido che ricade, il getto verticale non raggiunge mai l'altezza del livello nel recipiente (fig.112). Di qui la teoria delle sorgenti zampillanti naturali e artefatte, ossia de' pozzi forati, de'quali sarà detto nella fisica terrestre.

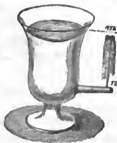


Fig. 112.

3. *La velocità è indipendente dalla natura e dalla densità del liquido*; ossia il volume del liquido che fluisce è sempre lo stesso per una medesima carica. Ce 'l dice l'esperienza, ma si deduce pure col ragionamento; poichè sebbene essendo più denso il liquido, le molecole che si trovano all'orifizio oppongono maggiore resistenza al moto, sono però corrispondentemente premute anche più dal liquido interno; e quindi come per compensazione tra la spinta e la resistenza rimane costante la velocità. La massa però o il peso del liquido che esce in un dato tempo è differente, cioè proporzionale alla densità; come anche è varia la pressione della vena contro i corpi opposti, la quale risponde alla forza motrice.

4. *Perchè sia costante la velocità dello scolo è necessario che resti invariata la carica.* Ciò può ottenersi 1.° col *sifone* e col *vase di Mariotte*, di cui nel libro seguente; 2.° col *vase a ribocco*, che è un serbatoio con due fori a differente altezza: vi si versi una quantità illimitata di liquido, e mentre l'eccesso trabocca per l'apertura superiore la quale è anche più ampia, dall'inferiore fluisce con velocità costante dovuta alla distanza tra le due luci; 3.° col *galleggiante di Prony*; ed è una cassa galleggiante congiunta mercè verghe di ferro con una vasca sottoposta, nella quale si versa il liquido che esce. Crescendo il peso del sistema di casse superiore e inferiore, il galleggiante s'immergerà maggiormente; e però dovendo la superficie di livello abbassarsi di tanto pel liquido che manca, di quanto sollevasi pel maggior volume del liquido spostato, rimarrà costante.

5. *Allorchè un recipiente di forma cilindrica o prismatica si e-*

suurisce pel liquido che se ne versa, la velocità dello scolo è uniformemente ritardata. Imperocchè da principio questa velocità corrisponde alla carica totale, ed è quella d'un grave spinto di basso in alto con forza identica; poi va diminuendo abbassandosi il livello, appunto come avverrebbe a quel grave nella salita verticale. Adunque il liquido fluente in un dato tempo da un vase, che si vuota per lo scolo, è metà di quello si verserebbe da un recipiente a livello costante. Siffatta conseguenza che è una delle leggi del moto uniformemente accelerato (36,3°), si rende chiara nel caso presente con riflettere che la stessa quantità totale del liquido deve fluire allorchè i valori delle velocità costituiscono una serie, sia che dal termine minimo progrediscono al massimo, sia che dal massimo s'impiccioliscano infino al minimo. Da questa teoria dipende la soluzione de'problemi sulla costruzione di una *clessidra* (*) o orologio ad acqua inventato dagli egizi, e usato presso greci e romani, e generalmente prima degli orologi meccanici.

6. ***Rimane modificato il teorema di Torricelli, se al foro d'uscita si applica un tubo, e variamente secondo la sua forma e dimensioni.*** In generale quando il liquido non bagna la parete del ***tubo addizionale***, la influenza è nulla, ossia la velocità è quale sarebbe senza il tubo, restando le stesse le altre circostanze. Dicasi altrettanto allorchè non succede adesione, perchè essendo forte la carica il liquido corre tutto unito a se medesimo e libero. Ma se v'è adesione, allora il tubo aggiunto accresce sempre la portata; se è cilindrico, e di lunghezza uguale a due o tre volte il diametro del foro, il ***coefficiente di riduzione*** della portata teoretica alla reale diventa 0,82. Se è conico, cresce anche più la velocità così, che è minore l'effetto quando il tubo addizionale è convergente, cioè la base più ampia del cono tronco è applicata alla luce; ed è maggiore allorchè il tubo è divergente, ossia rivolge al recipiente la base più ristretta. In quest'ultimo caso si accresce la portata reale a segno che la sua ragione alla portata teoretica diventa 1,45 a 1; e la ragione tra la portata reale e quella de'fori in pareti piane 2, 4 a 1.

È manifesta la cagione di questa influenza de'tubi aggiunti in accrescere la portata. Le molecole che scorrono rasente l'orifizio

(*) Κλεψύδρα da *κλέπτειν rubare di nascosto* e *ὕδωρ acqua*, indica quel distillare quasi furtivo dell'acqua che misura il tempo.

soffrono per attrito una diminuzione di velocità: esse nel fluire se aderiscono alle pareti del tubo, non sottraggono velocità ai filetti che si appressano all'asse della luce, con che la portata e la velocità totale riescono maggiori. V'à inoltre una esperienza del Venturi, dalla quale si rileva come mercè un tubo addizionale la velocità reale possa financo superare la teorica. Questi adattò ad un punto del tubo addizionale un cannello ricurvo prima ascendente e poi discendente fino ad immergersi in una vaschetta con un liquido colorato. Or poichè nell'atto dello scolo il liquido colorato ascese nel cannello, il liquido fluente produce non già una pressione ma una aspirazione; cioè scorre con velocità maggiore di quella dovuta all'altezza del livello, e l'eccesso è precisamente uguale alla colonna sollevatasi.

Pollice d'acqua. Questo aumento di portata pe'tubi conici fu noto ai romani, per che ne venne proibito l'uso nella derivazione delle acque destinate ad uso pubblico, e richiamata sopra ciò la vigilanza de'pretori. Di qui pure l'abolizione d'ogni tubo addizionale nel determinare la unità di misura, che serve di base ai contratti e alle concessioni delle acque fluenti. Questa unità è detta *pollice d'acqua*, e vuol dire quella quantità che fluisce in 1″ da una luce praticata in parete piana del diametro d'un pollice, essendo il liquido interno all'altezza di sette linee sul centro del foro.

141. Movimento delle acque ne'canali e ne'fiumi. Per valutare la velocità delle acque fluenti ne'canali artefatti o nei fiumi abbiamo tre mezzi:

1.° *il galleggiante semplice*: cioè un globetto di cera con contropeso, perchè non emerga sul pelo del liquido, e con ciò non provi resistenza dall'aria. Esso è trasportato dall'acqua, e ne prende la velocità: serve dunque per determinarne il valore ne' punti superficiali.

2.° *il galleggiante composto.* È formato di due globetti di cera uniti con filo; i quali se ànno lo stesso peso specifico, vanno uno accanto all'altro; se l'un d'essi è più pesante s'immerge di più; e così l'ordigno serve a misurare la velocità relativa di due filetti scorrenti o ad uguale altezza o ad altezza diversa.

3.° *il molinello di Woltmann*, col quale può misurarsi la velocità ad una profondità qualunque, ed è rappresentato a grandezza metà della naturale dalla fig. 113. Consiste in una ruota con parecchie alette impiantate alla estremità di un albero orizzontale: l'albero

si dispone normale alla direzione della corrente, la quale incontra le ale obbliquamente e le spinge: dal numero dei giri del mulinello in un dato tempo si deduce la velocità della corrente, se in una esperienza preliminare si è determinata questa relazione. Per contare il numero delle rotazioni dell'albero è disposto il seguente meccanismo. Sovr' esso è tagliato un filetto di vite G, il quale s'incastra co'denti d'una prima ruota dentata, e questa con una seconda avente maggior numero di denti; perciò mentre ad ogni rotazione dell' albero la prima ruota si avanza di un dente, il moto della seconda è assai più lento. Gli assi delle due ruote B, B sono impiantati in una traversa C mobile a cerniera intorno alla estremità di sinistra, la quale per mezzo dell'asta E può sollevarsi; ed allora la prima ruota dentata s'incastra nella vite G e l'apparecchio è in attività; nel caso contrario la molla F fa abbassare la traversa C, e le due ruote B, B trattenute da'sostegni A, A più non si rivolgono.

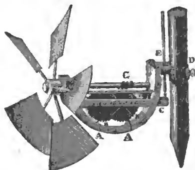


Fig. 113.

Il mulinello scorre lungo l'asta D, e si ferma all'altezza che piace mercè vite di pressione. Dopo averlo immerso si aspetti finchè il moto delle ale sia ridotto uniforme; poi si tiri su la verga E, e scorso il tempo dell'esperienza si abbandoni. Tolto dall'acqua lo strumento dalla posizione relativa de'denti delle due ruote, che sono graduate, si argomenta il nnmero de'rivolgimenti dell'albero.

Con questi apparecchi si riconosce che se il canale à la stessa forma e dimensione, ed è costante la inclinazione del fondo, le varie sezioni trasversali per tutta la sua lunghezza ànno esattamente la stessa maniera di movimento. Ma i filetti liquidi non sono animati per tutto dalla medesima velocità: si muovono tanto più veloci quanto più si scostano dalle pareti e dal fondo; nel mezzo del corso, ma poco al di sotto della superficie, v'è il massimo di velocità. Nè può essere altrimenti se riflettasi alle forze che agiscono sopra una sezione liquida qualunque. In primo luogo perchè il fondo del canale è inclinato, la sezione è spinta da una componente del

suo peso parallela al fondo; vi sono inoltre le pressioni opposte del liquido circostante, che possono giudicarsi uguali allo stesso livello; e finalmente soffre attrito dalle pareti solide che la contengono e dall'aria sovrastante.

Poichè i filetti che traversano la stessa sezione ànno diversa velocità, la *media* tra esse si considera come la velocità dell'acqua; e per avere la *portata* del canale conviene moltiplicare quella velocità media per la superficie della sezione trasversale.

La velocità de'fiumi presenta grandi anomalie per le variazioni di larghezza, profondità, ed inclinazione del fondo. Ancorchè per ciascuna sezione passi in 1″ la stessa quantità di acqua, la velocità sarà minore dove la sezione è più ampia, maggiore dov'è più ristretta. Poichè dovendo essere costante per ipotesi il prodotto della sezione per la velocità, ciascun fattore sarà in ragione inversa dell'altro. Ciò è vero così, che sembra stagnante l'acqua dove il fiume è largo e profondo, e invece precipitosa dove le sponde si approssimano. In corrispondenza poi a questa differente velocità la superficie liquida nel primo caso è quasi orizzontale, e nel secondo più o men fortemente inclinata.

Dalla velocità osservata nella superficie con un galleggiante si può inferire la velocità media facendo uso della seguente tavola di Dubuat; le velocità sono espresse in metri:

VELOCITÀ SUPERFICIALE	VELOCITÀ MEDIA	VELOCITÀ SUPERFICIALE	VELOCITÀ MEDIA
0.20	0,15	2,20	1,88
0,40	0,31	2,40	2,06
0.60	0,47	2,60	2,25
0,80	0,64	2,80	2,43
1,90	0,81	3,00	2,62
1,20	0,98	3,20	2,81
1,40	1,16	3,40	3,00
1,60	1,34	3,60	3,18
1,80	1,52	3,80	3,37
2,00	1,70	4,00	3,56

145. Pressione esercitata da un liquido fluente. Ci basti considerare una vena che preme una superficie, e un liquido scorrente che agisce contro un corpo immerso.

1.° Una vena incontri una superficie solida, la quale supporremo dapprima piana e perpendicolare alla vena. Il liquido si spanderà sovr'essa, e i filetti tanto più fortemente la premeranno, quanto maggiore modificazione ne riceverà il loro moto. Allorchè questi si staccano dalla superficie con direzioni parallele ad essa,

la pressione è massima; e ciò succede se la superficie à un'ampiezza 6 a 8 volte maggiore della sezione della vena. La pressione può essere valutata per mezzo d'una molla, o anche di una leva zancata, che si poggia con una estremità contro la superficie premuta, e sostiene un peso all'altra. Si rileva che questa pressione è proporzionale alla sezione della vena, e al quadrato della velocità.

Se la superficie è convessa la pressione sarà minore, maggiore se concava. Anzi in questa ultima ipotesi, se la superficie à forma di emisfero, i filetti liquidi si ripiegano su loro stessi sino a divenir paralleli e opposti alla vena; allora la pressione totale è doppia della pressione corrispondente a superficie piana.

Una vena obbliqua esercita pressione minore. Poichè decomposta la velocità della vena in due, una parallela, l'altra perpendicolare, quella prima è senza effetto. Laonde la pressione effettiva sarà espressa dalla seconda componente, ed è quale sarebbe prodotta da una vena perpendicolare e con la sezione che emerge tagliandola con piano parallelo alla superficie premuta.

Da ultimo se la superficie stessa è in moto, la pressione sarebbe quella esercitata contro una superficie immobile da una vena, che avesse la somma o la differenza delle velocità del liquido e della superficie solida secondo che si muovono uno contro l'altra, o pure entrambi nella medesima direzione.

2.° Consideriamo un corpo immerso in un liquido che scorre. Se un piano è immerso in un liquido fluente, la pressione normale che riceve sulle opposte facce è analoga a quella di una vena: sopra una delle facce la pressione è maggiore che se il liquido fosse in riposo, sull'altra è minore. Ma se trattisi d'un corpo immerso, la pressione totale è soggetta a mille variazioni dipendentemente dalla forma delle sue superficie anteriore e posteriore. Per un medesimo corpo la pressione è proporzionale al quadrato della velocità del liquido, e pe'corpi della medesima forma è come la sezione massima di ciascuno; è poi di tanto più debole, quanto è maggiore la obbliquità delle superficie ai filetti liquidi.

Di qui si comprende come valutare la pressione esercitata da un liquido contro un corpo immerso allorchè anche questo si muove, o quando è solo a muoversi mentre il liquido è in riposo.

Per dare una idea della influenza che à la forma di un galleggiante in modificare le pressioni del liquido, e quindi la varia resistenza al moto, basterà citare un'esperienza di Bossut. Questi

mise a galleggiare un modello di vascello di linea, e un prisma avente la stessa lunghezza, e larghezza uguale alla maggior sezione di quello: l'acqua oppose al primo una resistenza al moto 5 volte minore che al secondo.

146. Motori idraulici. Tra le forze motrici quella delle acque fluenti è della più grande importanza. Per intendere la sorgente di questa forza e misurarne il valore si rifletta, che ogni molecola di un corso d'acqua si abbassa verticalmente: genera così un lavoro espresso dal prodotto del peso della molecola per la differenza di livello tra i due punti della sua corsa (96,3°). Questo lavoro viene assorbito dalla resistenza, cioè dall'attrito dell'acqua sopra se medesima e i solidi che incontra. Per renderlo utile si oppone una traversa al corso d'acqua, per la quale si alza il livello sopra corrente, e sotto corrente si abbassa: l'acqua superato l'ostacolo vien giù ; e per misurare il lavoro della cascata , si moltiplica il peso dell'acqua cadente per la differenza di livello: a questo modo se ne esprime la forza motrice in chilogrammetri. S'intende che essendo costante la quantità di acqua di cui si può disporre, si avrà sempre il medesimo effetto durante una giornata, comunque si regoli la cateratta. Così se una cascata per tutto un giorno produce una quantità di lavoro di 50 chilogrammetri l'ora, darà in ciascuna un lavoro di 100 chilogrammetri aprendo la cateratta solo per 12 ore.

Per l'ordinario l'acqua agisce immediatamente sopra una macchina motrice destinata a riceverne la forza per trasmetterla ad altre macchine speciali : la dicono *motore idraulico*, il quale raggiungerà tanto maggiore perfezione quanto meglio sodisferà alle tre condizioni seguenti; cioè che l'acqua 1.° agisca sovr'esso avendo perduto il minimo di velocità; 2.° non generi urto e però non soffra cangiamenti repentini così nella direzione che nel valore della velocità; 3.° finisca d'agire conservando il minimo di velocità. Generalmente consiste in una ruota, cui l'acqua che sfugge da una cateratta imprime un moto di rotazione intorno al suo asse.

1.° *Ruota idraulica ad asse orizzontale.* La ruota può essere collocata in due modi. In primo luogo col suo asse orizzontale, e l'acqua da cui è animata può agire o *inferiormente*, o *superiormente*, o *di lato*. Inoltre le ruote ànno anche diversi nomi secondo la varia forma delle ale impiantate alla loro circonferenza. V'è la ruota a *palette piane* comunemente adoperata. V'è quella a *truogoli*, che sono tante scanalature o scompartimenti praticati sulla superficie

della ruota per tutta la sua lunghezza paralleli all'asse: l'acqua cadente li riempie, e sono tutti pieni quelli della metà discendente della ruota: arrivati al basso si vuotano e restano tutti vuoti quelli della metà ascendente; cosicchè la ruota si volge e supera le resistenze in forza del peso dell'acqua, che ne riempie una sua metà. La fig. 114 rappresenta la ruota di Poncelet: riceve l'acqua infe-

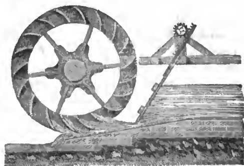


Fig. 114.

riormente, ed à le palette curve per modo da riuscire presso a poco tangenti la circonferenza esterna della ruota; questa forma sodisfa meglio che tutte le altre alle tre condizioni cennate di sopra.

Tra le varie ruote ad asse orizzontale la meno vantaggiosa è quella a palette piane, sì per l'urto troppo risentito dell'acqua contro le ale, e per la velocità considerevole che questa conserva dopo abbandonata la ruota, alla quale è dovuto il gorgogliamento a grande distanza sotto corrente. Nelle circostanze più propizie la quantità di lavoro non supera il quarto di quello, che corrisponderebbe all'acqua impiegata. Purtuttavolta è di un uso generale per la sua semplicità. Sarebbe poi da preferire ad ogni conto quando si avesse a disporre dell' acqua indefinita d' un fiume per renderne utile una porzione a piacimento con fare più o meno larga la ruota. In questi casi il lavoro trasmesso è massimo quando la velocità delle palette alla metà della loro altezza è 0,4 di quella dell'acqua.

Assai più vantaggiosa è la ruota a truogoli, che rende utile tre quarti del lavoro quando è bene stabilita. Soprattutto è necessario giri con lentezza, affinchè l'acqua per la forza centrifuga che si svilupperebbe non abbandoni anzi tempo la ruota.

2.° *Ruota ad asse verticale*. Una ruota idraulica può essere collocata col suo asse verticale, ed è utilissima fra le altre ne'mulini

per la semplicità della trasmissione del movimento parallelo dalla ruota motrice alla mola, sostenute entrambe dal medesimo albero, quella di sotto, questa di sopra.

Ve n'à di due specie. La prima detta *a cucchiai* à le palette curve ed oblique, lunghe quanto i raggi della ruota, le quali presentano la concavità all'acqua fluente da un canale. È dimostrato che questa può rendere utile il terzo del lavoro sviluppato dall'acqua; e perchè ciò si avvèri, la velocità de'punti della ruota spinti direttamente deve essere 0,7 di quella del liquido. V'è pure la *ruota a tino*, che presso a poco à la stessa forma sol che in cambio d'esser libera, è chiusa come in un tino di fabbrica; l'acqua vien di sopra per mezzo d' un canale nel tino con direzione tangente alla circonferenza della ruota, gira in esso trasportando seco le palette, e ne scorre inferiormente. Ma tra per l'attrito, e per l'acqua che fluisce senza azione, con questo genere di ruota, comunque costruita con tutta perfezione, non si rende utile che un quarto del lavoro trasmesso; e però non si adopera che quando si può disporre di gran volume di liquido cadente da poca altezza.

Anno pure l'asse verticale i motori idraulici detti *ruote a reazione*, di cui è tipo l'*apparecchio a reazione* (127), ma sono poco usati; a differenza di quelle ruote anch'esse ad asse verticale, costruite in questi ultimi anni, cui si è dato il nome di *turbini*, e che per aver raggiunto il più alto grado di perfezione son da preferire a tutti gli altri motori idraulici.

LIBRO QUARTO

STATO AERIFORME

NATURA DEGLI AERIFORMI E LORO PROPRIETÀ.

147. **Nozione dello stato aeriforme, atmosfera.** Allorchè le molecole per virtù del calore si riducono a tale distanza da più non ubbidire alla forza di coesione, il corpo diventa *aeriforme*, o *vapore*, o *gas* (*). E però la tendenza delle molecole ad allontanarsi indefinitamente le une dalle altre costituisce il carattere distintivo di questo stato. Inoltre per essere come disgiunte tra loro sono anche mobilissime assai più che quelle de'liquidi.

Pochi aeriformi si trovano naturalmente in questo stato; gli altri si ottengono in due modi; 1°. col solo riscaldamento, 2°. sprigionandoli in forza di reazioni chimiche da corpi solidi o liquidi con cui sono combinati. Ai fisici si appartiene lo studio delle sole proprietà comuni a tutti essi, prescindendo dalle differenze, delle quali si occupano i chimici; se non che ci conviene dimostrarle massimamente nell'aria atmosferica, tipo degli aeriformi, il più abbondante, che à dato il nome allo stato, e nel quale non pure operiamo tutt'i fenomeni fisici, ma viviamo.

Dicesi aria atmosferica, o *atmosfera* quel miscuglio di sostanze aeriformi, che circonda il nostro pianeta e costituisce un tutto con esso. È composta essenzialmente di azoto e di ossigeno nelle proporzioni in peso di 76,9 e 23,1 per 100, o in volume 79,1 e 20,9 con 4 a 6 dieci millesimi di acido carbonico, e una quantità variabile di vapore d'acqua; oltre frazioni tenuissime di altri corpi, che esalano dalle sostanze inorganiche o nascono dalla scomposizione delle materie vegetali e animali. L'atmosfera si volge con la terra nel suo movimento di rotazione e di traslazione; che se ciò non fosse noi proveremmo dal moto della terra, essendo l'aria in riposo, la stessa impressione, che se la terra si rimanesse immobile, e l'aria avesse un moto eguale e opposto. Si genererebbero cioè

(*) Voce introdotta da Van-Helmont dal tedesco *geist*, *spirito*.

delle correnti aeree dirette da oriente verso occidente di costante intensità per una stessa latitudine, ma crescente da'poli all'equatore, dove avrebbero velocità di presso a 463^m per 1''. Or gli uragani più violenti, i quali abbattono e distruggono tutto che incontrano, ànno appena velocità di 45 metri per 1''.

148. **Compressibilità ed elasticità degli aeriformi.** Gli aeriformi sono *compressibili*, e perchè cessata la forza *premente* si riducono al volume primiero, sono anche *elastici*. Infatti abbiasi un tubo calibrato contenente aria, o altro aeriforme: sia chiuso da un estremo, e si applichi all'altro uno stantuffo. Si riuscirà agevolmente a spingere questo contro il fondo chiuso, ma poi in lasciarlo a se ritorna alla prima posizione; ossia il volume dell'aeriforme si costringe sotto la pressione, e al suo cessare ritorna qual era. Con ciò la elasticità degli aeriformi sarebbe identica a quella de'solidi e de'liquidi.

Ma si rifletta invece che un aeriforme non à volume naturale e primitivo come un corpo solido o liquido: esso occupa una determinata porzione dello spazio, perchè è costretto dalle pareti del recipiente che lo contiene, o è compresso dall'aeriforme circostante. Questa *forza espansiva*, che dicesi pure *tensione*, costituisce la *elasticità* caratteristica degli aeriformi. Se nello sturare una bottiglia l'aria che vi si contiene non si spande, non fugge via, ciò è perchè l'aria esterna tende a spandersi e penetrarvi con forza uguale: si pareggiano le due tensioni. Che se la elasticità dell'aria esterna non l'impedisse, la bottiglia si vuoterebbe, o se già fosse vuota l'aria circostante vi penetrerebbe. A dimostrare questa verità si presta mirabilmente la *macchina pneumatica*, che in appresso descriveremo. Ecco una serie di esperienze, che rendono evidente tale forza espansiva con sottrarre una delle due pressioni o la esterna o la interna.

1. *Vescica aggrinzata*. Legato strettamente l'orifizio ad una vescica quasi del tutto senz'aria, si collochi sotto una campana in cui facciasi il vuoto: ai primi colpi di stantuffo si vedrà la vescica gonfiare per lo spandersi dell'aria residua come se col soffio fosse stata riempita; si avvizzisce poi come prima, allorchè si permette l'entrata nella campana all'aria esterna. Può argomentarsi quanto sia grande questa forza espansiva con collocare la vescica aggrinzata entro una scattola, e gravarne il coverchio di pesi, i quali verran sollevati nell'atto dell'esperimento. Il tutto riesce ugualmente qualunque aeriforme si contenga nella vescica.

2. *Fontana nel vuoto.* Riempita per metà una boccetta di acqua, le si aggiusti all' orifizio con sughero o con mastice un cannello aperto a'due lati, che scenda sin presso al fondo, e sia in alto assottigliato. Allorchè collocatala sotto una campana vi si fa il vuoto, si vedrà zampillarne l'acqua spinta dalla pressione dell'aria interna non più controbilauciata dalla elasticità dell'aria esterna. Che se il cannello è lungo abbastanza da potersi ripiegare all'esterno, e introdurre sino al fondo di una boccetta simile, ed entrambe si collochino sotto la campana, si osserverà un doppio fatto ; nell'operare il vuoto l'acqua della prima boccetta passerà nella seconda, e ritornerà nella prima al rientrare dell'aria.

3. *Adesione d'una campana.* Le descritte esperienze rendono evidente la espansione dell' aria interna al mancare della pressione esterna: le seguenti dimostrano il fatto opposto. Per sollevare una campana dal piatto della macchina prima d'estrarne l'aria convien superare il solo peso di quella, chè le due pressioni esterna e interna si equilibrano ; ma fatto il vuoto sarà più agevole romperla che staccarla dal piatto. Se la campana à di sopra o da un lato un orifizio cui si applica la mano, si sperimenterà sensibilmente una pressione dall'esterno verso l'interno.

4. *Mulinello nel vuoto.* Se dentro una campana con un foro da un lato munito di chiave si ponga una specie di mulinello, e fatto il vuoto si apre la chiave, si vedrà girare il mulinello con velocità corrispondente alla quantità di aria che dalla campana fu tolta.

5. *Fendipomo, crepavescica.* Un cilindro ben resistente aperto a' due lati finisca in su con goliera di metallo ad orlo tagliente : se all'orlo si adatta un frutto , p. e. una mela, e si poggia sul piatto della macchina, allorchè questa agisce la mela verrà recisa nettamente e spinta dentro con forza. In generale se il recipiente à una porzione di parete mobile, il che si può ottenere legando una vescica là dove manca la parete solida, si osserverà che quella si muove in dentro: la vescica si rende concava, e poi si frange con fragore dovuto al repentino precipitarsi dell'aria esterna nella campana. Quest'ultima esperienza si avvera dovunque sia collocata la parete mobile o di sopra o lateralmente, e perciò dimostra la espansione e la pressione da ogni lato.

6. *Emisferi di Magdeburgo.* Questa pressione per ogni verso si dimostra meglio cogli *emisferi di Magdeburgo,* così detti perchè ideati nel 1670 da quel medesimo Ottone de Guerick borgomastro

di Magdeburgo, che fu inventore della macchina pneumatica. Sono due mezze sfere cave di ottone (fig. 115) combacianti a capello pe' loro orli levigatissimi. Se unitone l' un d'essi a vite con la macchina pneumatica e adagiatovi su l'altro si operi il vuoto, sarà presso che impossibile a vigore d'uomo di separarli : indicheremo tra breve quanta intensità di forza per ciò si richiederebbe, la quale fia tanto maggiore quanto è più estesa la loro superficie. Che poi tal pressione sia dovuta alla elasticità dell' aria prementeli esteriormente , si prova nel seguente modo : chiusa la chiave, di che è munito l'emisfero inferiore , si stacchi dalla macchina l'intero sistema , e si sospenda nell' interno d' una campana : non appena da questa si estrae l'aria, e l'emisfero inferiore cade pel proprio peso , mancando del pari le due pressioni e la esterna e la interna.


Fig. 115.

149. **Peso assoluto e peso specifico degli aeriformi.** Si vuoti d'aria un pallone di cristallo munito di chiave di 6 a 8 litri di capacità, e sospesolo al piatto d'una bilancia si stabilisca l' equilibrio. Se aperta la chiave l' aria vi rientra , la bilancia trabocca dal lato del pallone. Ciò dimostra evidentemente che l' aria è pesante; e calcolando i pesi necessarî a ristabilire l'equilibrio, si deduce quale sia il peso di un volume d' aria eguale alla capacità del pallone. Così Arago e Biot determinarono con somma diligenza il peso d' un litro d'aria alla latitudine di 45° e alla temperatura del ghiaccio che si fonde, e 'l rinvennero uguale a 1 gr., 2995; e però un metro cubo d'aria pesa 1299, 5 grammi, o chil. 1, 2995. Riempiendo il pallone di altri aeriformi si à un analogo risultamento. Dalle quali esperienze si ricavano due conseguenze:

1ª. Tutti gli aeriformi sono pesanti. E quindi fu erronea la opinione degli antichi che vi fossero de'corpi pesanti, e altri assolutamente leggieri (50); la fiamma, il fumo, un vapore ascendono nell'aria come galleggia nell' acqua un corpo di essa più leggiero. Da che si comprende come travasare un aeriforme da un recipiente in un altro. Se è più denso di quello che si contiene nel secondo, vi si versi come si farebbe d'un liquido; così l'acido carbo-

nico, il cloro e simili si versano in un provino pieno d'aria. Dippiù se vuol conservarsi un aeriformo più leggiero dell'aria in recipiente aperto, questo deve essere capovolto; e però quando debba travasarsi in altro recipiente, si applichi esattamente il collo del secondo sotto il primo, e poi si rovescino entrambi così uniti per una mezza rotazione : l'aeriforme più leggiero occuperà il recipiente superiore, e nel sottoposto scenderà l'aria come più pesante.

2ª. Poichè un litro d'aria pesa 1gr., 2995, è agevole definire la relazione di densità tra essa e l'acqua distillata, e si trova essere 1/769. Somigliantemente si determina il peso specifico di tutti gli aeriformi, la densità de' quali si riferisce a quella dell'aria atmosferica presa per unità. Si adopera il medesimo pallone or ora indicato, e si riempie prima di aria atmosferica, poi dell'aeriforme in esame, e ciascuna volta si pesa. Il peso specifico di questo sarà il quoziente del suo peso assoluto e di un egual volnme di aria.

In siffatte ricerche per non avere risultamenti erronei fa d'uopo avvertire, che gli aeriformi si trovino esattamente nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, o se ciò non accade conviene tener conto di queste variazioni. Inoltre è necessario che sieno assolutamente secchi; e si rendono tali obbligandoli a traversare de'tubi con entrovi sostanze atte ad assorbire il vapor d'acqua, quali sono il cloruro di calcio fuso, l'acido solforico concentrato, e somiglianti.

Tavola del peso specifico degli aeriformi, preso per unità quello dell'aria atmosferica.

Aria.	1,0000	Acido carbonico. . .	1,5290
Ossigeno. . . .	1,1056	Ossido di carbonio. .	0,9670
Azoto	0,9713	Acido solforoso. . .	2,2470
Idrogeno. . . .	0,0693	Protossido d'azoto . .	1,5270
Idrogeno protocarbonato .	0,5590	Deutossido —— . .	1,0390
—— bicarbonato .	0,9784	Ammoniaca . . .	0,5970
—— arsenicale. ..	2,6950	Acido solfidrico . .	1,1912
fosforato . .	1,1850	—— cloridrico. .	1,2474
Cloro	2,2416	—— bromidrico .	2,7310
Cianogeno . . .	1,8064	—— iodidrico. .	4,4430

MISURA DELLA PRESSIONE ATMOSFERICA E BAROMETRO.

150. Esperienza di Torricelli. Costruzione del barometro. L'atmosfera preme la superficie terrestre tra pe'l suo peso e per la sua forza elastica. Quale sia il valore di questa pressione fu scoperto da Torricelli nel 1643 con la seguente esperienza. Riempito di mercurio un tubo di cristallo CD (fig. 116) della lunghezza di oltre 30 pollici chiuso da un lato, ed applicato un dito alla estremità aperta, il capovolse entro una vaschetta contenente pure mercurio ; quindi sottratto il dito lo sostenne verticalmente. Tosto si abbassò il mercurio nel tubo, e dopo alquante oscillazioni ve ne rimase una colonna AB alta sul liquido della vaschetta presso a poco 28 pollici. Ei ne dedusse che ciò avvenisse per l'atmosfera premente sul mercurio della vaschetta, e non su quello del tubo; e il peso della colonna di mercurio pareggiasse la pressione atmosferica, e ne fosse la misura. Ei chiamò *barometro* questo suo strumento.

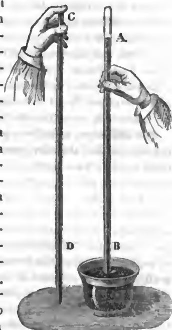


Fig. 116.

Per meglio comprendere la ragione del fatto, s'imagini un tubo piegato co'suoi rami verticali: un d'essi assai più corto contenga mercurio , l' altro si protragga in alto sino al termine dell'atmosfera : perchè il solo mercurio faccia equilibrio alla pressione atmosferica, ne deve essere la colonna di 28 pollici. Anche altrimenti : suppongasi mancar di presente la pressione atmosferica sopra un elemento della superficie di livello del mercurio contenuto in una vasca; sarà turbato l' equilibrio, e però si solleverà quivi il mercurio in una colonna , di cui il peso uguagli la pressione atmosferica mancante.

Pascal affine di confermare la scoverta di Torricelli imaginò due

ingegnosi argomenti: 1.° Tolse in Rouen nel 1646 un tubo lungo meglio che 35 piedi, e riempitolo d'acqua imitò in tutto l'operare di Torricelli nella idea, che se il fatto venisse cagionato dalla pressione atmosferica, la colonna d'acqua dovrebbe rimanere di tanto più alta che il mercurio di quanto la sua densità ne è minore; nè mal si appose, chè la colonna d'acqua si sostenne a 32 piedi, altezza tanto maggiore di 28 pollici, quanto la densità dell'acqua è superata da quella del mercurio espressa da 13,598. 2.° Pensò pure che la colonna barometrica dovesse deprimersi trasportando un barometro in alto sull'orizzonte, nel quale caso andrebbe diminuendo per gradi la pressione atmosferica sul mercurio della vaschetta; e di fatto nel 1648 Perier ad insinuazione di Pascal ottenne tra Clermont e 'l picco del Puy-de-Dôme sovrastante alla città una differenza dell'altezza barometrica di pollici tre e una linea; e lo stesso Pascal ebbe una differenza di due linee in Parigi tra la base e la sommità della torre di S^{t}. Jacques de la Boucherie.

Peso dell'intera atmosfera: pressione sul corpo umano. Adunque la pressione dell'atmosfera uguaglia il peso di una colonna di mercurio avente a base la superficie premuta e per altezza quella del barometro; e poichè quest'altezza se si sperimenti a livello del marc è di 28 pollici, ossia $0^{m},760$, la pressione sopra 1 centimetro quadrato di superficie uguaglierà il peso di una colonna cilindrica o prismatica di mercurio, che abbia per base 1 centimetro quadrato, e l'altezza di 760 millimetri, ossia chilogrammi 1,033. Laonde se vogliasi il valore della pressione dell'atmosfera su tutta la superficie terrestre espressa in chilogrammi, converrà moltiplicare il numero di centimetri quadrati che questa contiene per 1,033, e il risultamento sarà la unità seguita da venti zeri, cioè cento trilioni di chilogrammi. Ugualmente poichè la superficie del corpo umano di forma regolare è di un metro quadrato e mezzo, la pressione media che ciascun uomo soffre dall'atmosfera è di 15000 chilogrammi. Nè v'è da maravigliarne, quasi che dovessimo rimanerne schiacciati, o altrimenti soffrirne grave molestia nella vita e nel moto. La cagione del non provarne nocumento è a riporre non già nell'essere uguale tanta pressione per ogni lato del corpo, nè in esservici noi abituati; che per fermo non saremmo riusciti ad abituarci a tollerare sì enorme sforzo esterno, dal quale saremmo stati oppressi in sul principio; ma piuttosto nella elasticità de'solidi e liquidi e aeriformi esistenti in noi, la quale pareggia quella

dell'aria circostante. Per che soffriamo piuttosto quando l'aria esercita pressione più debole, il che ci fa dire essere *l'aria in quel dì più grave*, cioè affatto il contrario di ciò che realmente avviene. E se cresce considerevolmente l'eccesso della elasticità de'fluidi interni su quella dell'aria esterna, avvengono congestioni ed emorragie; come sottraendo l'aria da un recipiente applicato da una parte del corpo ed è l'operare delle ventose, o trasportandosi ne'globi aerostatici a grande altezza nell'atmosfera.

Avvertenze nella costruzione del barometro. Essendo grande la importanza acquistata dal barometro in ogni maniera di osservazioni meteorologiche, è necessario usare somma cura per costruirlo esattamente; e però conviene osservare i due seguenti precetti.

1.° Fa d'uopo che il mercurio sia purissimo; mentre se ciò non fosse ne verrebbe alterata la densità, e le osservazioni barometriche non sarebbero comparabili; aderirebbe anche più o meno alla parete del tubo per essere noto, che il mercurio impuro non è scorrevole, ma *fa coda*, come dicesi, e le indicazioni sarebbero erronee. A tal fine, se il mercurio è semplicemente imbrattato di sostanze straniere, si fa passare per forza di pressione attraverso una pelle di camoscio, e ne vien fuora nettissimo: quello del commercio deve essere distillato; o meglio si à puro scomponendo il solfuro e l'ossido mercurico.

2.° Perchè l'altezza barometrica misuri esattamente la pressione atmosferica, non deve rimanere nel tubo molecola d'aria o di vapor d'acqua, che aderiscono alla parete interna del tubo o al mercurio. Se fosse men che perfettissimo il vuoto barometrico, la colonna darebbe la differenza delle due pressioni esterna e interna. Si scaccia via e vapor d'acqua e aria con bollire il mercurio poco per volta nel tubo stesso del barometro; ma non se ne protragga fuor misura la ebollizione, affinchè non si ossidi, e con ciò non divenga meno scorrevole. Si argomenta che la operazione fu condotta bene, se inclinando il barometro il mercurio non impedito di pervenire alla sommità del tubo vi produce quella maniera di urto sonoro, che sogliam chiamare *colpo secco*.

Correzioni alle indicazioni barometriche. In ogni osservazione barometrica è necessario fare due correzioni dipendenti l'una dalla temperatura, l'altra dalla capillarità; senza tener conto delle variazioni della gravità in quanto alla latitudine e alla distanza dalla superficie terrestre, le quali sono ben poca cosa, fuorchè in alcune circostanze speciali.

1.° Ogni cambiamento di temperatura porta seco una variazione nella densità del mercurio; e però dovendo essere le altezze barometriche in ragione inversa delle densità, si avrebbero differenti le altezze comunque rimanesse costante la pressione atmosferica; o anche potrebbe rimanere invariata l'altezza comecchè si alterassero le pressioni. Laonde perchè le osservazioni sieno atte a confronto convien ridurre le altezze ad una medesima temperatura, e si è convenuto scegliere quella del ghiaccio in atto di fondersi. Nel libro del calore si vedrà la relazione tra le variazioni di temperatura e di densità del mercurio, e però anche il metodo per eseguire quella riduzione.

2.° La colonna barometrica si termina in alto con superficie convessa, e però soffre una depressione dipendente dalla capillarità, tanto più considerevole quanto è minore il diametro del tubo. Per aver l'altezza vera conviene aggiungere all'altezza osservata la corrispondente depressione secondo la tavola seguente, nella quale le depressioni e i diametri de'tubi sono espressi in millimetri.

DIAMETRO del tubo.	DEPRESSIONE del mercurio.	DIAMETRO del tubo.	DEPRESSIONE del mercurio.
2	4,579	9	0,534
2,5	3,594	10	0,419
3	2,902	11	0,330
3,5	2,415	12	0,260
4	2,053	13	0,204
4,5	1,752	14	0,161
5	1,507	15	0,127
5,5	1,306	16	0,097
6	1,136	17	0,077
6,5	0,995	18	0,060
7	0,877	19	0,047
8	0.684	20	0,036

151. Diverse forme di barometri. Le tante costruzioni di barometri, che sono in uso, si possono ridurre a due grandi categorie, cioè di barometri *a pozzetto* e *a sifone* :

1.° *Barometri a pozzetto.* Il *barometro di Torricelli* appartiene a questa classe, ed è il più semplice di tutti. Consiste nel tubo da noi descritto immerso nella vaschetta ossia nel *pozzetto*. È raccomandato ad una tavoletta, alla quale è unita la scala; ma per l'ordinario non v'è che una frazione di scala quanta basti per misura-

re le comuni variazioni a livello del mare, ossia tra 730 e 780 millimetri. La scala suole esser divisa in pollici e linee; e perchè si adopera ora il pollice inglese ora il francese che è più grande, ci piace aggiungere quì la scala equivalente in millimetri affine di allontanare il fastidio di ridurre nelle rispettive osservazioni.

BAROMETRO INGLESE			BAROMETRO FRANCESE		
poll.	dec.	millimetri	poll.	dec.	millimetri
27	4	695,93	26	0	703,82
	5	698,49		1	706,07
	6	701,03		2	708,33
	7	703,57		3	710,59
	8	706.11		4	712,84
	9	708,65		5	715,10
28	0	711,19		6	717,36
	1	713,73		7	719,61
	2	716.27		8	721,86
	3	718,81		9	724.12
	4	721,35		10	726,38
	5	723,89		11	728,63
	6	726,43	27	0	730,89
	7	728,97		1	733.15
	8	731,51		2	735,40
	9	734,05		3	737,66
29	0	736,59		4	739,91
	1	729,13		5	742,17
	2	741,67		6	744,42
	3	744,21		7	746,68
	4	746,75		8	748,94
	5	749,29		9	751,19
	6	751,83		10	753,45
	7	754,37		11	755,70
	8	759,91	28	0	757,96
	9	756,45		1	760,22
30	0	761,99		2	762,47
	1	764,53		3	764,73
	2	767,07		4	766,98
	3	769,61		5	769,24
	4	772,15		6	771.49
	5	774,69		7	773,73
	6	777,23		8	776,01
	7	779,77		9	778,26

Questo barometro à due gravi inconvenienti. Il primo di non esser portatile altrimenti che scomponendolo, cioè togliendo il pozzetto, e capovolgendo il tubo. Il secondo è ancor più grave, che

mentre il termine della scala è fisso il cominciamento è variabile; poichè lo *zero* dell'altezza barometrica è il livello del mercurio nel pozzetto, e questo livello naturalmente si abbassa o si alza, crescendo o diminuendo l'altezza nel tubo barometrico. Adunque sono sempre erronee le indicazioni. Si rende minimo l'errore dando al pozzetto un diametro molto grande relativamente a quello del tubo.



Fig. 117.

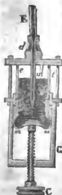


Fig. 118.

Barometro a fondo mobile. L'uno e l'altro svantaggio del barometro di Torricelli si toglie rendendo mobile il fondo del pozzetto, come avviene nel *barometro di Fortin*, che il costruì verso il 1807, ed è rappresentato dalla fig. 117. La canna barometrica C*b* perchè sia ben difesa è rinchiusa in astuccio di metallo avente due fenditure longitudinali, attraverso le quali si osserva il livello B del mercurio. Lunghesso il tubo scorre un anello A con un nonio rispondente alla scala, ch'è segnata all'orlo delle fenditure nell'astuccio: esso serve per evitare gli errori di parallasse in valutare l'altezza della colonna barometrica: si dirige un raggio visuale che incontri i due orli opposti dell'anello, e 'l punto culminante della superficie convessa del mercurio, e poi si legge nella scala. Il tubo pesca nel pozzetto *b* di cristallo, attraverso il quale si osserva se il livello O del mercurio è allo zero *a* della scala. Questo pozzetto viene espresso più in grande nella fig. 118. Il serbatoio cilindrico di cristallo *ei* contiene il mercurio: al fondo è legata una pelle *mn*, la quale mercè la vite C può sollevarsi e abbassarsi, e così riduce il livello del mercurio a contatto della punta d'avorio *a* principio della scala. Il maschio della vite s' impana nel coverchio di rame G, che fa tutt'uno col fondo superiore: questo à un foro *d* pel quale s'introduce la canna barometrica E, e attorno è legata una pelle, attraverso cui penetra l'aria premente.

Talvolta il pozzetto è tutto opaco, come accade nel barometro di Robinson; e allora galleggia sul liquido una piastrina di acciaio o di avorio congiunta ad un'appendice sporgente attraverso il fon-

do superiore del pozzetto, sul quale sono anche fisse a'lati due guide. Sul galleggiante e sulle guide si segnano tre lineette orizzontali, e quando esse si corrispondono argomentasi che il livello del mercurio è allo zero della scala.

Volendo trasportare questi barometri si gira la vite C finchè il mercurio abbia raggiunto il punto culminante della canna, e poi si capovolge lo strumento. Ma se v'è il galleggiante, conviene innanzi tutto chiuderne il foro perchè non u'esca mercurio; e quando si è pervenuto dove metterlo in attività, è necessario svolgere prima la vite per abbassare il pozzetto, e poi aprire il galleggiante.

Barometro di Newmann. Questo è il migliore tra i barometri fissi per uso di gabinetto. Il tubo à grande diametro, per che è ridotta a niente la influenza della capillarità : il pozzetto è invariabile, ma la scala è mobile, la quale finisce in giù con punta aguzza di avorio, e mercè una vite e un'asta dentata si porta a contatto della superficie del mercurio prima di ogni osservazione.

2.° *Barometri a sifone.* Dicesi a sifone un barometro avente il tubo piegato ad arco co'due rami ascendenti di lunghezza diversa ma di egual diametro congiunti mercè un tubo di diametro piccolissimo. Il ramo più lungo è chiuso, aperto il minore per ricevere la pressione atmosferica. Può essere custodito anch'esso da un astuccio metallico con due fenditure longitudinali. L'altezza barometrica è la differenza tra le colonne di mercurio ne'due rami. E quindi la scala può essere divisa in due modi: o lo zero è nel punto infimo, dove quelli si congiungono , e allora si ottiene la misura dell' altezza sottraendo dalla colonna maggiore la minore; o lo zero è nel mezzo del tubo lungo, e si sommano le distanze da esso delle due superficie di livello. L'abbassamento e l'innalzamento del mercurio in uno de'rami è sempre metà dell'intera variazione barometrica.

Se i due rami ànno uguale diametro, questi barometri sono esenti dalla correzione della capillarità per essere uguale ed opposta l'azione ai due lati. Per renderli portatili si unisce una chiave di acciaio o di avorio nel punto infimo tra le due braccia, la quale si chiude dopo aver fatto passare il mercurio nel ramo lungo; e quindi si capovolge lo strumento. Ma il mercurio presto rimane imbrattato dalle sostanze grasse di cui si unge la chiave per farla agire.

Barometro di Gay-Lussac. Ingegnosa è la modificazione fatta da Gay-Lussac al barometro a sifone. Anche il braccio corto è chiuso

ma di lato à un forellino capillare pel quale l'aria può ben penetrare, ma non già uscirne il mercurio per capillarità. Laonde senz'altro riesce comodissimo ne'viaggi. Se non che potendo per lungo uso introdursi qualche bollicina d'aria nel voto barometrico, il valoroso artista Bunten vi à aggiunto il perfezionamento seguente, quanto difficile a eseguire, altrettanto prezioso per conservare esatto lo strumento. Il braccio lungo del barometro invece di mantenere per tutto il medesimo diametro si assottiglia in giù con una estremità acuminata, e così s'innesta inferiormente all'altra parte del tubo, la quale presenta colà un rigonfiamento, cosicchè rimane tutt'intorno uno spazio anulare: in questo spazio si arresta qualche bolla d'aria che s'incamini per avventura verso il vuoto barometrico, donde sarà agevole espellerla capovolgendo il tubo e percotendolo leggermente.

Barometro marino. I barometri di Bunten e di Gay-Lussac diventano *barometri marini*, cioè non soggetti agli urti del mercurio contro la parete del tubo per le scosse non possibili a evitare nell'atto della navigazione, sol che la canna si renda di diametro piccolissimo per tutta la sua lunghezza, tranne la estremità superiore dov'è il livello del liquido. A questo modo richiedesi tempo perchè il mercurio dal pozzetto ascenda nella camera barometrica, e non può esservi spinto con forza.

Barometro a quadrante. Per rendere più sensibili le piccole variazioni barometriche furono proposte diverse costruzioni ingegnose, ma tutte per gravi inconvenienti vennero tosto abbandonate. Così il *barometro inclinato* di Maryland, del quale il tubo è piegato ad angolo; e però dovendo il mercurio raggiungere mai sempre la medesima altezza, qualunque sia la forma del tubo, la lunghezza della sua scala nelle medesime circostanze è a quella del tubo dritto nella ragione dell'ipotenusa a un cateto. Così i *barometri composti* a liquidi diversi. Fra gl'istrumenti di questa natura è solo in uso il *barometro a quadrante* (fig. 119) per la forma speciosa e perchè men notevoli ne sono i difetti. Esso è un barometro a sifone col braccio corto aperto: sul mercurio v'è un galleggiante raccomandato a filo tenuissimo, il quale si avvolge intorno una puleggia O quanto può dirsi girevole, e finisce con un contropeso P dall'altro capo. Alla puleggia è congiunto un indice che scorre per una circonferenza su cui è segnata la scala. Le oscillazioni del livello del mercurio e con esso del galleggiante fan-

no volgere la carrucola e l'indice; le indicazioni saranno tanto maggiori di quelle de' barometri ordinarî per quanto l' indice è più lungo. Talvolta il mercurio ascende lateralmente al galleggiante, il qnale perciò resta immobile ; ma con lieve urto la superficie del liquido si rende convessa, e 'l galleggiante va al suo posto cioè divien tangente il punto culminante di qnella. Fu ideata questa costruzione nel 1670 da R. Hooke, e poi da altri perfezionata.

Barometri aneroide e metallico. In qnesti ultimi anni sono stati inventati due barometri senza mercurio fondati su principî affatto diversi dall'esperienza fondamentale di Torricelli.



Fig. 119.

Il primo d'essi è l' *aneroide* ideato dal Vidi nel 1847 : si compone d'un serbatoio cilindrico di rame vnoto d'aria, del quale la parete snperiore è sottilissima e però molto flessibile. La pressione atmosferica la rende concava, e più o meno al suo crescere o diminuire , equilibrandosi con due molle a spirale, che tendono a ritenerla. Qnesti movimenti si trasmettono per mezzo di leve ad angolo ad un indice che scorre lungo nna circonferenza divisa in gradi.

Il secondo è il *barometro metallico* di Bourdon di epoca anche posteriore, e fondato sul seguente principio: che se un tnbo a pareti flessibili ed a sezione ellittica pochissimo eccentrica è avvolto ad elica nel senso dell'asse minore, qualunqne pressione interna sulle pareti tende a svolgerlo, e per l'opposto ogni pressione esterna tende ad avvolgerlo maggiormente. Lo strnmento è costituito da un tubo metallico vuoto d'aria a pareti sottilissime e con la sezione anzidetta: pel suo pnnto medio è conginnto stabilmente a un fondo metallico, e le sue braccia son piegate ad arco: quindi le variazioni della pressione atmosferica ne modificano la curvatura, ed i movimenti si trasmettono a un indice simile a quello del barometro precedente.

Questi due barometri sono oltremodo sensibili e portatili: generalmente le loro indicazioni sono concordi con quelle de' barometri a mercurio; ed appena risentono qualche minima alterazione dipendente dai cambiamenti di temperatura.

152. Misura delle altezze per mezzo del barometro. Poichè a livello del mare il peso dell'aria è presso a 770 volte minore di quello dell'acqua, e questo 13,598 volte minore di qnello del mercurio, l'aria peserà ad egual volnme 10472 volte meno che il mercurio nelle medesime circostanze. E però una colonna di 1 mill. di mercurio farà equilibrio ad una colonna d'aria 10472 volte maggiore, ossia uguale a 10^{m}, 472. Ciò vuol dire che se un barometro a livello del mare segna 760^{mm}, e trasportisi in sito alquanto elevato dove la colonna discenda a 759 millimetri, l'altezza di questa stazione sul livello del mare sarebbe di 10^{m},472. E difatti così è a un dipresso. Adunqne se la densità dell'atmosfera fosse costante comnnque ci elevassimo sull'orizzonte, sarebbe agevole aver la misura dell'altezza relativa delle montagne sul livello del mare; tante volte 10^{m} sarebbe alta ciascuna d'esse sul mare, e più l'nna che l'altra, di quanti millimetri vedremmo abbassata la colonna di mercurio. La cosa però va molto altrimenti. La densità dell'atmosfera diminuisce col crescere delle altezze, ed in ragione molto più rapida di quel che esse aumentano. Laonde a produrre egnale abbassamento nel barometro fa d' uopo d'nna colonna atmosferica sempre maggiore, qnanto più in alto si ascende. Inoltre si cambia la temperatura dell'atmosfera da nno strato all'altro, e insieme la sua densità. Vi sono infine altre cagioni perturbatrici, per cui il problema della determinazione delle altezze per mezzo del barometro è abbastanza complicato.

De Laplace supponendo che l'aria sia a metà satura di vapore, e che le variazioni di temperatura sieno uniformi tra le due stazioni, à dato nna formola, da cui immediatamente si rileva l' altezza relativa. Essa rendesi molto più semplice per la latitndine di 45° (*).

(*) Sieno H, h le altezze barometriche nelle due stazioni, T, t le temperature corrispondenti, l la latitudine. Laplace esprime l' altezza relativa A con la formola

$$A = 18393\,(1 + 0{,}002837 \cos 2l)\left\{1 + \frac{2T + t}{1000}\right\} \log \frac{H}{h},$$

la quale per la latitudine di 45°, poichè $\cos 2l = 0$, diventa

$$A = 18393\left\{1 + \frac{2(T + t)}{1000}\right\} \log \frac{H}{h}.$$

E ultimamente Babinet à proposto la formola seguente per le altezze minori di 1000^m, per la quale non occorre far uso de' logaritmi:

$$A=1600^m\left(\frac{A-h}{A+h}\right)\left\{1+\frac{2(T+t)}{1000}\right\}.$$

Nell' annuario dell' ufficio delle longitudini in Parigi si trovano delle tavole calcolate secondo la formola di Laplace e d' un uso sommamente spedito.

Il metodo pratico da seguire è il seguente. Se la distanza tra le due stazioni è piccola, basta un solo osservatore: nel caso contrario v'è bisogno di due operanti quando l' aria è calma e a ciel sereno, ed alla istessa ora del giorno, che suole essere quella del mezzodì, perchè allora l' altezza barometrica corrisponde alla media del giorno. Sarebbe anche meglio paragonare nelle due stazioni le indicazioni *medie* barometriche e termometriche annuali, date da un gran numero di osservazioni. Che se i luoghi sono molto lontani, è indispensabile il secondo metodo, essendo facili ad avvenire ne'due strumenti delle variazioni accidentali.

RELAZIONE TRA LA ELASTICITÀ E LA DENSITÀ DEGLI AERIFORMI.

153. **Legge di Mariotte.** La macchina pneumatica à renduta sensibile la pressione degli aeriformi (149); il barometro ci à dato la misura di quella cagionata dall'atmosfera (150); ambo questi apparecchi c'indrizzano a scoprire la legge di tal pressione, ossia la relazione tra la elasticità e la densità. Serve a tal uso il *doppio barometro*, il quale consiste in una campana A (fig. 120) con due tubi: il primo d'essi B è un vero barometro avente la vaschetta nell'interno di quella; l'altro C, che comunica da un de'lati con la campana, è formato di due rami congiunti di sopra, e finisce pure con una vaschetta, nella quale si pone del mercurio. Collocata sul piatto della macchina pneumatica, non appena questa incomincia ad agire, e si osserva un doppio fatto: la colonna barometrica B si abbassa gradatamente, ed insieme ascende il mercurio nel tubo C. Quella indica ad ogni istante la pressione dell' aria residua nella campana, e la colonna ascendente nel tubo esteriore segna l' eccesso della pressione esterna sull' interna: il primo barometro si va disfacendo in quel che si forma il secondo. In qualunque istante della esperienza la somma delle colonne di mercurio nei due tubi

uguaglia l'altezza barometrica assoluta; di tal che, se si potesse giungere a torre tutta l'aria dalla campana, nel tubo B la colonna scenderebbe a livello del pozzetto, e in B si alzerebbe 760^{mm}. Adunque rendendosi meno densa l'aria, ne diviene anche minore la pressione ossia la sua elasticità.

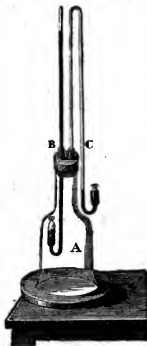


Fig. 120.

La relazione tra la elasticità e la densità degli aeriformi è formolata nella *legge di Mariotte* da lui scoperta nel 1650, ed è che: *il volume d'un aeriforme a temperatura costante varia nella ragione inversa delle pressioni che soffre, e così la densità come la elasticità variano nella ragione diretta di quelle pressioni.* Per dimostrarla vi son due modi diversi, per le pressioni maggiori e per le minori d'un'atmosfera.

1°. Nel primo caso si usa il tubo ABC (fig. 121) aperto di sopra, e chiuso nella estremità C del ramo corto, con una scala da ambo i lati. Introducasi per A alquanto di mercurio, il quale ascendendo nei due rami al medesimo livello *ab* chiuda nel ramo minore una colonna d'aria BC. Si aggiunga ora novella quantità di mercurio per A, e si vedrà salire per gradi il livello in BC; quando sarà pervenuto in *c*, riducendosi a metà la colonna d'aria, l'eccesso della colonna di mercurio nel ramo lungo su quella del corto sarà di 760^{mm}; ossia l'aria rinchiusa sostiene ed esercita una pressione di due atmosfere. Similmente, ridotta la colonna d'aria BC al terzo, al quarto del suo volume, sopporta e produce una pressione di tre, quattro atmosfere.

2°. Per le pressioni minori d'un'atmosfera si adopera un tubo aperto ai due lati, e munito superiormente di chiave. Aperta prima la chiave, immergasi il tubo in un lungo provino pieno di mercurio, e poi si chiuda così, che resti nel tubo una colonna d'aria; per essere questa ugualmente densa che l'aria esterna, il livello

del liquido sarà del pari alto dentro che fuori. Ma se vadasi sollevando il tubo dal pozzetto, per modo che il volume dell'aria divenga maggiore, si ergerà pure in esso una colonna liquida al di sopra del livello esterno. Dunque l' aria esterna esercita una pressione maggiore che la interna. Allorchè il volume aeriforme sarà doppio del primitivo, la colonna di mercurio sarà una metà di 760^{mm}, ossia la pressione dell' aria interna è divenuta la metà; triplicato il volume aeriforme, la sua pressione sarà ridotta al terzo, e così di seguito.



Fig. 121.

Questi due apparecchi possono servire ugualmente a dimostrare la legge di Mariotte per qualunque altro aeriforme, sol che questo introducasi nei tubi invece dell'aria.

Limiti della legge di Mariotte; *aeriformi permanenti e non permanenti*. Dulong e Arago nel 1830 confermarono la legge di Mariotte per l' aria atmosferica sino a 27 atmosfere. Regnault per converso in questi ultimi tempi à dimostrato, che molti gas si sottraggono a quella legge anche sotto pressioni assai minori, cioè si restringono più di quello che la legge richiederebbe, e financo l'ossigeno e l'azoto, mentre per l'idrogeno succede l'opposto.

Sotto valide pressioni le molecole degli aeriformi si avvicinano a segno da risentire la forza di coesione, ed allora cangiano stato divenendo liquidi. Veramente Despretz il primo annunziò, che per poco divenga considerevole la pressione, molto più nelle vicinanze della intensità necessaria al passaggio da uno stato all' altro, il restringimento è più notevole di quel che richiegga la pressione.

Allorchè era ancora scarso il numero degli aeriformi atti a liquefarsi, furono tutti divisi in due classi: quelli che cangiavano stato furon detti *non permanenti*, e *permanenti* gli altri. Ma crescendo di giorno in giorno il numero de' primi, soprattutto aggiungendo ad enorme pressione un abbassamento considerevole di temperatura, quella distinzione non resse. Tre soli aeriformi sono rimasti costantemente tali nelle ultime esperienze di Faraday, l' azoto, l' idrogeno, l' ossigeno; e quest'ultimo sotto una pressione di 58 atmosfere, e alla temperatura di —76 C. Purtuttavolta è a pensare che, som-

ministrandoci la scienza più efficaci mezzi e di pressione e di raffreddamento, tutti gli aeriformi saranno liquefatti.

Tavola delle pressioni espresse in atmosfere, e delle temperature a cui diversi aeriformi divengono liquidi.

Aeriformi	pressioni	temperature
Acido solforoso	1 2	— 10 15
Cloro	5	10
Cianogeno	1 4	— 20 15
Idrogeno arsenicale	1	— 30
Ammoniaca	1 6 1/2	— 40 10
Acido solfidrico	17	8
Acido cloridrico	40	8
Protossido d'azoto	30	0
Acido carbonico	18 27 36	— 36 — 27 0

151. Manometro. Sul principio di Mariotte è fondata la costruzione d'uno strumento destinato a misurare la elasticità degli aeriformi, e vien detto *manometro*: indichiamone le specie.

1. *Manometro ad aria libera.* Esso consiste in un lungo tubo aperto a' due lati, e immerso con un estremo nel mercurio di una vaschetta chiusa, sul livello del quale preme l'aeriforme, di cui si vuol misurare la forza elastica. Se questa uguaglia la pressione atmosferica operante nell'interno del tubo, si pareggeranno i livelli del mercurio nella vaschetta e nel tubo; ma se la supera, il mercurio salirà nel tubo. Allorchè l'eccesso della colonna liquida è di 760^{mm}, la elasticità dell'aeriforme sarà di due atmosfere; se ascenderà il doppio, il triplo, la tensione sarà di 3, di 4 atmosfere.

Per evitare l'uso d'un tubo molto lungo, si costuma piegarlo in più rami ascendenti e discendenti tutti paralleli: ciascun d'essi contiene mercurio in una porzione di sua lunghezza, e aria nel rimanente: il sistema comunica da un lato col serbatoio, in cui è l'aeriforme in esame, ed è aperto dall'altro lato.

Ma entrambi sarebbero incommodi, allorchè si trattasse di pressioni molto forti: in questi casi si preferisce il seguente.

2. *Manometro ad aria compressa.* È un tubo calibrato pieno di

aria e chiuso di sopra (fig. 122). Allorchè il mercurio ascende in esso per la pressione dell'aeriforme, che si esercita mercè il tubo a chiave A, vi comprime l'aria, e dalla diminuzione del volume di questa si argomenta il valore di quella. Secondo la legge di Mariotte riducendosi il volume dell'aria alla metà, al terzo, al quarto, la sua tensione è di due, tre, quattro atmosfere ; ma l'aeriforme premente sul livello del pozzetto deve fare equilibrio altresì alla colonna sollevatasi di mercurio. Ad esempio se il tubo manometrico è lungo 760^{mm}, quando il volume dell'aria è ridotto a metà, la pressione dell'aeriforme sarà di due atmosfere e mezzo ; e quando sarà ridotto al terzo, la pressione sarà di tre atmosfere e due terzi, e così di seguito. Laonde gl' intervalli nella scala non sono uguali tra loro, ma decrescono coll'altezza , e tutta la scala è dipendente dalla lunghezza del tubo.



Fig. 122.

Anche questo manometro può avere differenti costruzioni : talvolta il tubo è piegato a due rami, uno chiuso contenente aria, l'altro pel quale preme l'aeriforme ripieno di mercurio; altre volte pure ne' due rami son due palle , che quando lo strumento è in azione si riempiono or d'aria or di mercurio.

3. *Manometro metallico di Bourdon.* Questo strumento (fig. 123) si fonda sul medesimo principio del barometro metallico (151). Esso è composto d'un tubo vuoto ricurvo *ab* di ottone , lungo 7 centimetri , del quale la sezione S è ellittica con gli assi lunghi 11 e 4 millimetri. Una sua estremità è unita alla chiave *m*, per cui entra l'aeriforme premente: è libero per tutta la sua lunghezza, e all'altra estremità porta l'indice *e*, che corrisponde ad un arco graduato. La pressione interna dell'aeriforme modifica leggermente la figura della sezione, gonfia il tubo, e tende insieme a raddrizzarlo gradatamente, cagionando uno spostamento nell'indice proporzionale alla pressione. Si gradua con paragonarlo ad un manometro a mercurio. Ma fa d'uopo assicurarsi a quando a quando che le indicazioni sono esatte, potendo accadere che pressioni valide e protratte a lungo cagionino delle tenui modificazioni nello stato molecolare e però anche nella elasticità del metallo.

155. **Macchina pneumatica.** Ora solamente che ci è nota

la legge del come dilatisi e si costringa l' aria al diminuire o crescere della pressione, possiam descrivere la *macchina pneumatica* destinare *a fare*, come dicesi, *il vuoto*. Essa si compone di due camere di tromba con entrovi due stantuffi S, S' (fig. 124); a questi son congiunte le aste H, H' con denti dalla parte interna, i quali s' incastrano con qnelli d' una ruota dentata collocata fra esse: dando alla ruota un moto alternativo di rotazione mercè la doppia manovella MM', si fa discendere e salire a vicenda or l'uno or l'altro de' due stantuffi. Le camere di tromba comunicano fra loro e col centro B del piatto di cristallo P ben levigato, sul quale si poggia il recipiente C.

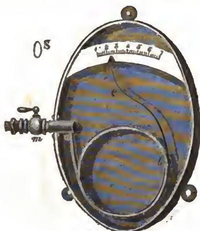


Fig. 123.

Il *provino* A serve per indicare ad ogni istante la elasticità dell'aria interna: è formato d' una campana comunicante con le camere di tromba e col recipiente C per mezzo di chiave:nel suo interno v'è un barometro tronco, o un tubo piegato contenente mercurio nel ramo chiuso, mentre l'altro è aperto.Allorchè la elasticità dell'aria è divenuta minore di quel che richiederebbesi per fare equilibrio a questa colonna di mercurio, il liquido si abbassa; se tutta l'aria interna fosse tolta, le colonne di mercurio si pareggerebbero ne'due rami. Talvolta si usa un intero barometro per osservare l'effetto della macchina dal primo momento di sua azione.

Per intendere come operi la macchina in sottrarre l' aria dalla campana C, consideriamo che agisca una sola camera di tromba, e quindi un solo stantuffo S (fig. 125). Questo à un foro nella sua spessezza chiuso dalla valvola *d*, che si apre di basso in alto,è ritenuto però al suo posto da una molla a spirale. È traversato anche a sfregamento dall'asta *b* che finisce in giù con la valvola *a*, ma questa non può innalzarsi che un pochissimo per l'impedimento cagio-

nato dal punto di fermata c. Il foro cui corrisponde la valvola a stabilisce mercè il condotto DD′ B comunicazione tra la camera di

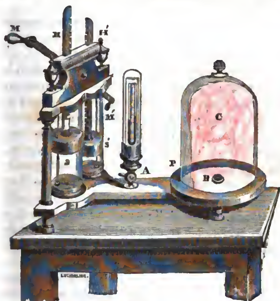


Fig. 124.

tromba e 'l recipiente. Da ultimo la chiave E à due fori perpendicolari l'uno all'altro: il primo nel senso del condotto DD′, e però

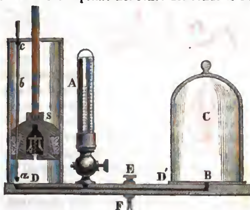


Fig. 125.

girandola convenevolmente si può aprire e chiudere la comunica-

zione tra il recipiente e la tromba, e si costuma intercettarla fatto il vuoto; il secondo chiuso dalla caviglia F permette, quando occorre, l'entrata all'aria esterna.

Ciò posto, allorchè lo stantuffo S dalla sua posizione infima ascende, la valvola *d* è chiusa, e la valvola *a* si apre, e però, disposta come richiedesi la chiave E, l'aria del recipiente C e del condotto DD' si dilata nella camera di tromba, occupandovi lo spazio che successivamente rimane sotto lo stantuffo. Per converso allorchè esso discende, si chiude immediatamente la valvola *a*,e quindi l'aria, ch'era passata nella camera di tromba, non può ritornare nel condotto e nel recipiente; ma colà per gradi si comprime, finchè acquistata elasticità da superare la pressione atmosferica, fa forza contro la valvola; e all'aprirsi di questa passa nello spazio sopra lo stantuffo nella camera di tromba, il quale è sempre in libera comunicazione coll'aria esterna. Sollevando di nuovo lo stantuffo il tutto succede come prima, e così di seguito. Ad ogni colpo di stantuffo l'aria diviene sempre più rara, e costantemente con la medesima legge. Infatti supponiamo che la capacità della camera di tromba sia la metà di quella del recipiente C e del condotto DD' insieme,e che lo stantuffo nella sua corsa percorra tutta la lunghezza della camera, come sempre deve accadere. In sollevarsi la prima volta, l'aria si dilata, e 'l suo volume aumenta nella ragione di 2 a 3 su quel che era, e quindi la densità diventa due terzi di quella dell'aria libera. Al secondo colpo di stantuffo l'aria residua si dilata ugualmente; e così l'operare della macchina consiste nel ridurre ogni volta la densità dell'aria interna ad essere uguale a'due terzi della precedente. Di leggieri però si comprende, che sebben sia vero che protraendo l'azione di quella si rende sempre più rara e con la stessa legge l'aria del recipiente, pure non si giunge mai al vuoto perfetto: poichè a ciò si richiederebbe che ad un qualche colpo di stantuffo tutta l'aria di quello passasse in fine nella camera.

Ad una sola camera era la macchina pneumatica,quale fu ideata da Ottone de Guerick nel 1650. Ma dopo i primi colpi di stantuffo rendutasi l'aria del recipiente rara abbastanza, e però considerevolmente meno elastica dell'aria esterna, richiedeasi una forza ingente per sollevare lo stantuffo. Fu quindi ideato il sistema di due camere di tromba e due stantuffi moventisi alternamente di concerto, sul moto de'quali la pressione atmosferica è senza influenza, poichè mentre si oppone all'ascendere d'uno d'essi favorisce l'abbassarsi dell'altro.

Con le migliori macchine pneumatiche il mercurio del provino non solo non si pareggia in altezza nelle due branche, ma rimane sempre con una differenza almeno di due millimetri. Ciò avviene perchè quando l'aria interna è divenuta rara sino a quel punto, allorchè si abbassa lo stantuffo quella che si comprime sott'esso non à più forza di sollevare la valvola *d*, e da quel momento la macchina è senza azione. Belli e poi Babinet ànno ideato un ingegnoso perfezionamento, mercè il quale si spinge a tale la diminuzione di elasticità dell'aria da equilibrarsi a mezzo millimetro appena di mercurio. Esso consiste in una chiave che à un doppio effetto: toglie la comunicazione tra una tromba e il recipiente, mentre pone in corrispondenza le due trombe fra loro. Così una delle trombe sottrae aria dal recipiente e la spinge sotto la seconda, dove acquista densità sufficiente per sollevare la valvola dello stantuffo e si spande nell'aria esterna.

Usi della macchina pneumatica. Questa macchina è destinata non solo alla dimostrazione di verità fisiche, ma vien pure applicata a differenti usi tecnici e sociali. Ad esempio soprammodo vantaggiosa è stata la idea di valersi della pressione atmosferica a muovere il convoglio per una strada ferrata, quando una inclinazione considerevole rende difficile l'azione delle locomotive. S'imagini fermato sul suolo tra le due rotaie un lungo tubo, nel quale scorre un ampio stantuffo congiunto al primo carro del convoglio: se nella parte anteriore del tubo si faccia il vuoto con potente macchina pneumatica, la pressione atmosferica sullo stantuffo spingerà innanzi l'intero convoglio con forza tanto maggiore quanto è più ampia la base dello stantuffo, ed il vuoto è più perfetto. Il tubo presenta una fenditura longitudinale munita di valvole di cuoio, che restano chiuse ermeticamente nella parte corrispondente al vuoto, e si aprono solo per dar passaggio all'asta, che unisce il carro allo stantuffo.

Di tale natura è il sistema di strada ferrata detta *atmosferica* imaginato da Clegg, e messo in opera per superare il pendio della strada che da Parigi mena a Saint-Germain. Dopo un'esperienza però di 10 anni è stato ora abbandonato, perchè troppo costosa riusciva l'azione di gigantesca macchina pneumatica per forza di vapore; guadagnano l'erta invece le locomotive destinate al trasporto di mercanzie. Purtuttavolta dovrà sempre darsi la preferenza al sistema atmosferico, quando si abbia una forza motrice

gratuita, come una cascata d'acqua, per produrre il vuoto; e le salite fossero insieme risentite e tortuose, come per l'ordinario succede tra le montagne.

Anche una specie di ufficio di posta *atmosferico* è stato messo in atto a Londra per la distribuzione rapida delle lettere e de'pacchi, facendo comunicare le diverse stazioni di posta per mezzo di tubi vuoti con entrovi stantuffi scorrevoli.

Macchina di compressione. Questa macchina produce l'effetto opposto della macchina pneumatica. Serve, come l'indica il nome, ad accrescere la densità dell'aria in un recipiente, e ciò con introdurvene una quantità novella. La costruzione è la stessa di quella, sol che le valvole nelle trombe si aprono di alto in basso. Laonde ad ogni colpo di stantuffo si spinge nel recipiente tant' aria, quanta ne esiste sotto lo stantuffo ; e però la densità va crescendo nella ragione della capacità della tromba a quella del recipiente. Questo se di cristallo è munito tutt'intorno di rete metallica per evitare i danni di uno scoppio; e finalmente in luogo del provino v'è un manometro generalmente ad aria compressa.

Applicazione della macchina di compressione è il *fucile a vento*, dal quale l'aria compressa spandendosi spinge innanzi a se il proiettile, come operano ne'fucili ordinarî gli aeriformi, che si sviluppano nella combustione della polvere da sparo. L' aria si addensa nel calcio del fucile mercè una tromba di compressione, e vi è trattenuta da una valvola, che si apre di fuori in dentro : poi tolta la tromba si unisce con vite al calcio la canna, in cui è il proiettile : allo scattar d'una molla ne sfugge una porzione d'aria con empito, e trae seco il proiettile. Ma l' aria vi resta pure abbastanza compressa da operare una seconda volta, e una terza; e si costruiscono financo de'fucili, i quali tirano meglio che venti colpi.

AEROSTATICA.

156. **Condizioni d' equilibrio degli aeriformi.** Dicesi *aerostatica* il trattato dell'equilibrio delle sostanze gassose, e de'corpi che sono in esse. Le condizioni d'equilibrio d'un aeriforme sono differenti secondo i due casi che possiam supporre :

1.° Se prescindiamo dal suo peso, come si può sempre quando ne è piccola la quantità, ed è rinchiusa in un recipiente, la condizione d'equilibrio si riduce a questo solo, che la forza elastica sia u-

guale in tutt'i punti, e venga distrutta dalla resistenza delle pareti.

2.° Ma se trattisi d'una massa pesante estesa, come sarebbe l'atmosfera, la sua forza elastica deve essere la medesima per tutto uno strato orizzontale, e crescere insieme con la densità appressandosi alla superficie della terra. Si comprende che debba esser così riflettendo, che ogni strato sostiene il peso e la pressione di tutti gli strati soprapposti. Il fatto conferma pienamente la teoria, e possiamo assicurarcene per mezzo del barometro.

Limite dell'atmosfera. Se a tanto minore pressione sono sottoposti gli strati atmosferici a quanto maggiore altezza si elevano, e la tendenza alla espansione è carattere distintivo degli aeriformi limitata solamente dalla pressione che sopportano, parrebbe che l'atmosfera non avesse un limite, ma dovesse estendersi nello spazio indefinitamente. Purtuttavolta le osservazioni ci assicurano del contrario. E però convien dire, che portate le molecole a grande distanza relativa oltre un certo termine più non si ripellano; in quella guisa medesima che cessa del pari questa forza ripulsiva quando le molecole grandemente si avvicinano, ed accade il cambiamento di stato, la liquefazione. In tale condizione non più risentono gli aeriformi la influenza delle forze molecolari termiche, e sono sottoposti solo in massa all'azione della gravità terrestre.

La forza di gravità dell' atmosfera vien contrastata dalla forza centrifuga, che si sviluppa nel suo moto di rotazione con la terra, la quale si aumenta da'poli all' equatore, e cresce con la distanza dalla superficie terrestre. Sino ad una certa altezza la prima delle due forze supera la seconda;ma stante che andando su si aumenta l'una e l'altra s'impiccolisce, si giunge finalmente a tal punto che a vicenda si distruggano. Colà v' è equilibrio. Questo limite, oltre il quale l'atmosfera non può estendersi, si calcola pel piano dell'equatore ritrovarsi a un'altezza di circa 36000 chilometri. È desso il suo limite teoretico.

Nondimeno la diminuzione di densità degli strati atmosferici ne rivela un'altezza reale incomparabilmente minore, dove o più non v' è aria atmosferica, o non potrebbe dimostrarsene la esistenza con alcuno de'mezzi, cui la scienza à messo in nostro potere. La formola di Laplace (152) potrebbe prestarsi a determinare per approssimazione l'altezza, a cui l'aria à forza elastica non più che d'un millimetro, la quale pareggia quasi il vuoto delle nostre migliori macchine pneumatiche. Supponendo che in quell' alta regione la

temperatura sia di — 60°, e le altezze de' due barometri $0^m,760$ e $0^m,001$, il risultamento del calcolo è $46627^m,68$. Il che vorrebbe dire la spessezza di tutta l'atmosfera uguagliare appena un centesimo del raggio terrestre.

157. **Pressioni degli aeriformi su' corpi immersi; baroscopio.** Poichè gli aeriformi sono pesanti, e le loro molecole mobilissime, premono con le stesse leggi de'liquidi i corpi immersi in essi; e questi tendono a discendere con forza uguale al loro peso, e a salire con forza uguale al peso del volume spostato. Laonde si avvera per gli aeriformi ugualmente che pe'liquidi il principio di Archimede (131). Tale perdita di peso sofferta da un corpo nell' atmosfera si rende manifesta mercè l'apparecchio nomato *baroscopio* (fig. 126). Esso componesi di due sfere metalliche A, B, l' una vuota, l' altra piena, equilibrantisi esattamente agli estremi dell'asta di piccola bilancia; e però la prima à diametro maggiore della seconda. Collocatolo sotto una campana sul piatto della macchina pneumatica, all' operarvi il vuoto si turba l' equilibrio: la sfera A si abbassa, la piena B va in alto. Adunque nel vuoto la sfera A pesa più di B, ossia il vero peso di A è maggiore di quello di B. Esse equilibravansi nell' aria non perchè i pesi fossero uguali, ma per la perdita maggiore di peso che A soffriva al paragone di B, corrispondentemente all'eccesso del volume della prima su quello della seconda.

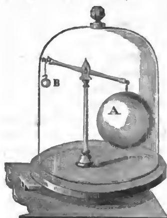


Fig. 126.

Di quì s' inferisce che, allorquando si vuol determinare con precisione il peso d' un corpo, è necessario aggiungere al suo peso nell'aria quello di egual volume di aria atmosferica.

Equilibrio de'corpi immersi nell'atmosfera. Perchè un corpo sia in equilibrio nell'atmosfera è chiaro, che il suo peso deve uguagliare quello dell' aria spostata. Si rifletta però, che se il volume del corpo è invariabile, questo equilibrio sarà anche stabile in quanto alla distanza dalla superficie terrestre, a motivo delle densità decrescenti negli strati atmosferici. Infatti se una forza il menasse

negli strati più elevati, esso tenderebbe a discendere per la perdita minore del suo peso, che soffrirebbe in un' aria più rara; e se venisse trasportato in basso, tenderebbe a salire perchè il suo peso sarebbe diminuito maggiormente per la sottrazione di quello d'un egual volume d'aria più densa. È ben vero che anche la gravità subisce variazioni, che sono funzioni della distanza dalla terra (78,3°), ma non van calcolate al confronto di quelle, di cui ragioniamo. In quanto poi alla stabilità di equilibrio relativamente alla posizione del corpo rispetto alla verticale, le condizioni sono le medesime che pe' corpi immersi ne' liquidi (132) ; il suo centro di gravità deve trovarsi al di sotto di quello del fluido spostato. E quindi un corpo omogeneo non può avere equilibrio stabile così negli aeriformi come ne'liquidi; poichè comunque esso rivolgasi, il suo centro di gravità e quello del fluido spostato coincidono nell' istesso punto, e le due forze scambievolmente si distruggono.

Ma se il volume del corpo è variabile, come avverrebbe se fosse elastico a pareti estendibili, la cosa procede altrimenti. Portato in alto, il suo volume cresce al diminuire della pressione esterna, e con esso anche la perdita di peso ; e però divenendo sempre più leggiero seguita ad ascendere. Se vien trasportato invece negli strati inferiori, per l'aumento di pressione diminuisce di volume, e il peso diventa maggiore. Non occorre dirlo, su questi principi è fondata la teoria de'*globi aerostatici*.

158. **Aerostati**. La scoverta degli aerostati sembra dovuta e nella idea e nel fatto agl'italiani. Imperocchè mettendo da banda quanto riguarda il volo con ali meccaniche a somiglianza di uccelli (*), il P. Francesco Lana da Brescia concepì il primo il disegno del potersi sostenere in aria una nave, sebbene con l'artifizio non atto a riuscire dell'aggiunzione di globi di rame a pareti sottilissime e vuoti, i quali senza fallo resterebbero schiacciati dalla pressione esterna (**); e 'l veneziano Tiberio Cavallo membro dell'Accademia Reale di Londra innalzò colà nel 1781 un palloncino di 4 piedi di diametro riempiendolo d'idrogeno, secondo che ce ne assicura il naturalista Broussonet, che ne fu spettatore. Purtuttavolta i fratelli Stefano e Giuseppe Montgolfier fabbricanti di carta e valenti co-

(*) Giambattista Dante matematico perugino par che realmente avesse spiccato un volo dalla sommità d'una torre con felice successo per mezzo di ali posticce nel 1640.

(**) Saggio d'alcune esperienze nuove. Brescia 1670.

noscitori di fisica son ritenuti comunemente come inventori dell'*aeronautica* per la pubblicità dello spettacolo che diedero in Annonay loro patria il 5 giugno 1783, e per la fondata speranza che offriva il loro metodo di sollevare nel pallone uomini e cose. Esso consisteva nel rendere rara col riscaldamento l'aria interna, e però senza che ne diminuisse la elasticità, anzi accrescendola. Questa prima *mongolfiera* era di carta somigliante ai palloni che oggidì sollevansi per trastullo; avea altezza di 35 piedi, circonferenza di 100, capacità di 2200 piedi cubici: il peso dell'intero sistema del pallone e del sottoposto fornello era di 550 libbre.

Immediatamente dopo Charles professore di fisica in Parigi sostituì l'idrogeno all'aria rarefatta, adoperando seta spalmata di vernice elastica in cambio della carta con parecchi vantaggi; inviluppo più resistente e non alterabile dalla umidità, evitato il pesante carico del combustibile, rimosso il pericolo d'incendio, e soprattutto impiegata una forza ascendente assai più valida. Infatti alla temperatura di 100 gradi la densità dell'aria diminuisce appena di un quarto, mentre l'idrogeno ad uguaglianza di temperatura con l'aria ne è 14 volte più leggiero. Ei lanciò il suo globo nel campo di marte il 27 agosto 1783.

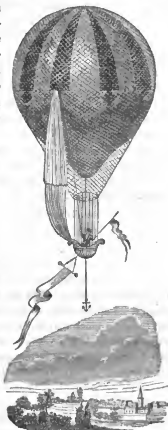
Il 21 settembre di quel medesimo anno Pilâtre des Roziers fè un primo saggio a Versailles d'innalzarsi nella mongolfiera legata con corda; giunse a 324 piedi di altezza. Il 21 novembre volarono la prima volta a mongolfiera libera Pilâtre des Roziers, e 'l marchese d'Arlandes nel giardino de la Muette presso Parigi: e 'l dì 1 decembre dal giardino delle Tuilleries Charles e Robert fecero altrettanto con pallone a idrogeno.

Blanchard col dottor Ieffries il 7 gennaro 1785 fecero i primi la traversata della Manica. Sollevatisi a Douvres discesero a stento dopo tre ore a Calais, facendo getto di tutto per fino degli abiti onde rendere più lieve il pallone.

Mal consigliato fu l'avviso di unire in uno il doppio sistema ad aria rarefatta ed infiammabile. Pilâtre des Roziers e Romain innalzatisi con mongolfiera sottoposta ad un pallone con idrogeno precipitarono da 600 tese di altezza; nè altrimenti finì in Bologna il Zambeccari uno de'più valenti aeronauti italiani.

Al presente abbandonate le mongolfiere non si usa che idrogeno. La forma ordinaria è quella d'una pera o d'una sfera schiacciata. Il capitano Scott preferì quella d'un pesce. L'inviluppo è

formato di lunghe strisce di stoffa di seta, la dimensione delle quali dipende dalla forma trascelta: si cuciono insieme e poi si spalmano di vernice d'olio di lino o di caoutchouc. Tutto il pallone è coverto d'una rete di funi, i cui capi terminano inferiormente in un cerchio, al quale è legata una gondola per ricevervi i viaggiatori. Affin di osservare la direzione del movimento pende dalla navicella una lunga banderuola, che si volge in senso opposto al cammino dell'aerostata; e da ultimo v'è una piccola ancora per valersene nelle circostanze (fig. 127.)


Fig. 127.

La forza ascendente del pallone è conseguenza delle sue dimensioni, del suo peso, e della purezza del gas impiegato. Il peso d'un metro cubo d'idrogeno a 0° è 89 gr.; il peso d'un metro cubo di aria atmosferica è 1299 gr.; quindi la forza ascendente d'un metro cubo d'idrogeno a traverso l'aria è di 1210 gr.; cioè può innalzare un peso maggiore di 12 ettogrammi. E però moltiplicando 1210 pel numero di metri cubici di gas adoperato, e togliendo dal prodotto il peso e del pallone e della gondola, la differenza darà la misura della sua forza ascendente. Donde sarà agevole calcolare il peso di cui può venire gravato. Sovente s'impiega l'idrogeno carbonato, che serve all'illuminazione; questo però è assai più pesante dell'idrogeno puro: à densità variabile, ma il peso medio di un metro cubo è 688 gr.; quindi la sua forza ascendente è di circa 611 gr. cioè presso a poco la metà di quella dell'idrogeno.

Se il globo aerostatico fosse chiuso e affatto pieno di gas nel momento della partenza, salendo in regioni d'aria meno elastica, la pressione interna supererebbe la esterna, e sempre più per gradi,

di tal che ne verrebbero senza fallo di gravi accidenti. Per ciò si riempie solo di due terze parti, e nella salita l'idrogeno dilatandosi finisce di gonfiarlo. Il pallone di sotto à un'apertura per la quale l'aeriforme comunica con l'aria esterna; ne à pure un'altra di sopra, ma chiusa esattamente con valvola, la quale per mezzo di una corda prolungantesi fino alla gondola può esser regolata dall'aeronauta. Ei l'apre, permettendo l'uscita a porzione del gas, quando fosse troppo tesa la parete del pallone, o quando per discendere volesse renderlo men leggiero. Ma il venir giù accadrebbe con le leggi della discesa de'gravi, o più veramente sarebbe un precipitare. E però la navicella è munita di zavorra, che è un carico di fina sabbia, della quale si va alleggiando gradatamente il sistema durante la calata. Può anche a tal fine introdursi nel pallone dell'idrogeno serbato compresso in un recipiente. Da ultimo si adopera al medesimo scopo il *paracaduta*, che è una specie di larga ombrella, ideato da Montgolfier e usato la prima volta da Blanchard in Parigi il 2 marzo 1784. Nel salire esso è avvolto e legato con corda che passando per la gola d'una puleggia va a terminare alla gondola. Recisa questa corda, il paracaduta si spande liberamente, e per la resistenza che incontra dall'aria in ragione della sua ampiezza tempera la velocità della discesa.

Vano è riuscito finora ogni tentativo per dirigere gli aerostati. Blanchard il 2 marzo 1784 usò le ali al pallone; Morveau e Bertrand il 25 aprile dello stesso anno credettero giovarsi di remi; e poi furon proposti e vele e razzi e eliche, e macchine mosse dal vapore o dall'elettrico. Ma ogni sforzo è riuscito sempre a nulla, chè di quanto più potenti apparecchi si vuol disporre per vincere la enorme resistenza opposta dall'aria ad una mole immensa, tanto più ne cresce il peso, e però nella medesima ragione se ne debbono aumentare le dimensioni e quindi la resistenza. Non dirò *assolutamente impossibile*, come avea definito Charles, l'arte di dirigere il pallone, ma ancor troppo da noi lontano è quel rivolgimento che ne verrebbe in ogni maniera di usi sociali (*), e per fermo non riposto in alcuno dei mezzi imaginati sino a questo dì.

(*) Per darne un saggio, fu adoperato sovente un aerostata legato con corda per investigare dall'alto con cannocchiale i movimenti d'un campo nemico, e l'aeronauta ne trasmetteva le osservazioni per mezzo di biglietti, che scorrevano lungo la corda. La prima volta il generale Iourdan si valse con profitto di questo artifizio alla battaglia di Fleurus nel 1794.

Non rimane dunque che abbandonarsi alle correnti aeree. Nondimeno poichè queste ànno per l'ordinario svariate direzioni e fra loro contrarie a differenti altezze, converrebbe sollevarsi sino a raggiungere quella che è diretta pel verso desiderato, e seguirla orizzontalmente sino a oltrepassare d'alquanto il termine del viaggio; allora poi discendendo s'incontrerebbe la corrente opposta, in balía della quale toccherebbesi la meta.

I più famosi viaggi aerei furono quello di Biot e Gay-Lussac per commissione dell'Istituto di Francia nel 1803 sollevatisi all'altezza di 4000 metri, e quello di Gay-Lussac solo nel 1804 fino a 7016 metri: questi partito dal Conservatorio delle arti e mestieri calò presso Rouen percorrendo in sei ore circa 30 leghe. Anche più in alto giunsero Brioschi e Green. Un silenzio profondo, solenne, circonda il solitario aeronauta a sì enorme distanza dalla terra, di cui sovente gl'involano la vista le sottoposte nuvole : il cielo sovrastante prende una tinta azzurro-carica andante al nero. Gay-Lussac riferì regnarvi tale una secchezza che carta e pergamena s'incartocciavano come per azione di fuoco: il termometro che segnava sul suolo 31° C, discese a—9°,5, e 'l barometro a 32 centimetri: la respirazione, e la circolazione del sangue stranamente si accelerarono a segno, che la pulsazione delle arterie si accrebbe da 66 fino a 120 per minuto.

AERODINAMICA.

159. **Cagioni del moto degli aeriformi.** Diciamo *aerodinamica* il trattato del movimento degli aeriformi stessi, e di quello che essi producono. Un aeriforme si muove, 1° per moto comunicato, 2° per la sua propria elasticità.

Moto comunicato, ventilatori. Un solido, un liquido, che muovasi in un'atmosfera gassosa, comunica parte di sua velocità alle molecole di questa, e 'l moto si propaga tanto più lungi quanto sono maggiori la massa movente e la sua velocità, ossia la intensità della forza motrice. Diconsi *ventilatori* le macchine ordinate a porre l'aria in moto per *comunicazione*. Il più semplice di tutti è il *ventaglio*.

Il *ventilatore a forza centrifuga* (fig. 128) si compone d'un tamburo cilindrico fisso AB, entro cui mercè un sistema di ruote dentate si volge rapidamente con moto di rotazione l'albero EF, a cui

sono impiantate le ale G, G, G..; queste rotando determinano anche l'aria che è nel tamburo a girare, la quale per forza centrifuga tende ad allontanarsi dall'asse. Laonde se l'uno de'due fondi à de'fori verso la periferia, che mettono nel condotto D, e l'altro fondo per un'apertura C verso il centro comunica liberamente coll' aria esterna, si determinano due correnti indefinite; la prima uscente per D, la seconda entrante per C. E però questo ventilatore serve ugualmente così per lanciare un copioso flusso di aria onde alimentare per esempio un forno di fusione, che per aspirare esalazioni infette da una miniera, mettendo in comunicazione il forno col condotto D, la miniera con l'apertura C.

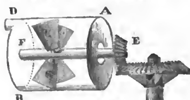


Fig. 128.

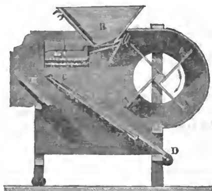


Fig. 129.

È pure un ventilatore a forza centrifuga lo strumento destinato a nettare il frumento dalle polveri e da'filetti di paglia (fig. 129). Il frumento si colloca nella tramoggia B, dal cui fondo aprentesi a brevi intervalli cade poco per volta. La corrente d' aria cagionata dalle palette rotanti A, A, A, A scaccia via le impurità, le quali sfuggono per CEF, e 'l frumento nettato perchè più pesante scorre per CD.

La *tromba* è un'altra maniera di ventilatore, che si usa ne'paesi di montagna, dove si può disporre d'una cascata d'acqua. È formato d'un lungo tubo AC (fig. 130), del quale la estremità superiore, che si può chiudere a piacere con la valvola E, comunica con un serbatoio d'acqua; questa vi si precipita trasportando seco aria, cui puranco aspira pe'fori A, A... che sono lateralmente al tubo. L'altra estremità fa capo ad una cassa B tutta chiusa, nella quale l'aria vien compressa; ne occupa costantemente la cavità superiore, e tende a fuggirne pel condotto D, che la guida ad

un fornello, o dove altro che sia. L'acqua si versa perennemente dal canale C.

160. **Movimento degli aeriformi in virtù della propria elasticità.** Anche prescindendo dal cangiamento di temperatura un gas diffondesi in uno spazio vuoto,o contenente aria più rara. Abbiasi aria in un recipiente con un foro: una delle due pressioni, o la esterna o la interna,sia quella dell' atmosfera , l' altra maggiore o minore. La velocità dello scolo dipende dall' eccesso d' una pressione sull'altra.

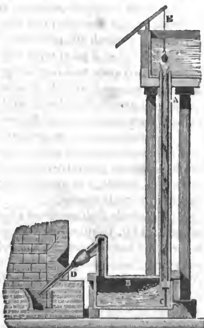


Fig. 130.

Principio di Torricelli applicato agli aeriformi. Può calcolarsi questa velocità considerando il gas come un liquido ugualmente denso, il quale sia sottoposto a una pressione pari alla differenza di quelle, che corrispondono alle due pressioni interna ed esterna. Ossia convien cercare l'altezza d'una colonna liquida avente la densità del gas, e il peso uguale alla pressione che produce lo scolo ; la velocità richiesta sarebbe quella , cui un corpo acquisterebbe cadendo da questa altezza. Vogliamo determinare a mo' di esempio la velocità, con che l'aria a 0° e alla densità ordinaria si precipita nel vuoto: poichè la pressione di $0,^{m}76$ mercurio equivale a una colonna d'acqua di $10,^{m}33$, e la densità dell'aria è 0,0013 di quella dell' acqua , ne segue , che una colonna d' aria equivalente in peso a 76 centimetri di mercurio avrebbe $\frac{10^{m},33}{0,0013}$ di altezza, ossia metri 7946. Or cadendo un corpo da questa altezza nel vuoto acquista velocità di $394,^{m}81$ per 1″; anche questa è dunque la velocità con cui penetra nel vuoto.

Conseguenze ed applicazioni. Da questi principî s'inferiscono le verità seguenti:

1°. *Un aeriforme a temperatura costante sfugge sempre nel vuoto con la stessa velocità a qualunque pressione è sottoposto;* e però la quantità di gas che esce in un dato tempo è proporzionale alla sua densità, e quindi alla pressione. Questa costanza di velocità non à più luogo se il gas si versa nello spazio vuoto d'un recipiente limitato; nel quale caso le prime porzioni di aeriforme che l'occupano temperano la velocità della corrente; e l'altezza della colonna generatrice della velocità sarebbe proporzionale alla differenza di forza elastica, e però decrescerebbe perennemente.

2° *Le velocità, con cui si precipitano nel vuoto differenti gas, sono nella ragione inversa delle radici quadrate di loro densità.* Poichè le altezze generatrici delle velocità sono nella ragione inversa delle densità, e le velocità sono proporzionali alle radici quadrate di queste altezze.

3.° *Nello scolo degli aeriformi v'è contrazione della vena come pe'liquidi* (141). Infatti volendo assicurarsi con la esperienza della verità dei teoremi spettanti alla velocità del movimento dei gas può usarsi il seguente apparecchio, che vien detto *gassometro;* ed è affatto il medesimo che si usa per la distribuzione del gas destinato alla illuminazione delle città, a meno che in questo caso le dimensioni ne sono incomparabilmente maggiori. Introducasi l'aeriforme in una grande campana cilindrica sospesa sull'acqua per mezzo di una corda, che passa per la scanalatura d'una girella, e finisce con pesi atti a stabilire l'equilibrio. Alla sommità di quella v'è un appendice, dove collocare successivamente lamine sottili con fori di differenti diametri e tubi di svariate dimensioni; v'è inoltre un manometro per conoscere la pressione del gas interno. Caricando la campana di nuovi pesi si obbliga l'aeriforme ad uscirne; il volume di gas fluito in un dato tempo si argomenta dalla immersione della campana, e dividendo quel volume per la sezione dell'orifizio s'inferisce la velocità. Or da 150 esperienze condotte a questo modo nell'aria atmosferica Daubuisson concluse, che la velocità reale è minore della teoretica, e che perciò la vena aeriforme si contrae come una vena liquida. Il *coefficiente di contrazione* è 0,65 se l'orifizio è in parete sottile, 0,93 se l'orifizio finisce con un tubo cilindrico corto, e finalmente 0,95 se il tubo è alquanto slargato. È poi di gran lunga minore la velocità dello sco-

lo per lunghi tubi addizionali, o tanto più quanto è maggiore la loro lunghezza, più piccolo il diametro e più grande la velocità.

4°. *Reazione prodotta dal flusso degli aeriformi.* Le pressioni cagionate sulle pareti del recipiente da un aeriforme rinchiusovi scambievolmente si elidono perchè uguali ed opposte; ma sfuggendo il gas da un orifizio manca colà la pressione, e'l recipiente si muove in direzione opposta, in tutto come accade nello scolo de' liquidi (127). È questa la cagione del rinculare le armi da fuoco, e del muoversi per tanti versi i razzi e i fuochi da gioia. Nell' atto di bruciare la polvere da sparo si svolgono in copia sostanze aeriformi, le quali spandendosi premono da ogni lato le pareti dello spazio in cui sono racchiuse. La parete meno resistente è sempre formata dal proiettile; questo cedendo fugge con impeto, ed è spinta pure l'arma in senso inverso; ma la sua velocità è tanto minore di quella del proiettile, di quanto la sua massa ne è maggiore.

Allo stesso principio di reazione sembra che debbano attribuirsi i movimenti di traslazione e di rotazione sull'acqua della canfora, del potassio, dei frammenti di sughero imbevuti d'etere e somiglianti, che Dutrochet vorrebbe spiegare per l'azione di una forza alla quale à dato nome di *epipolica.*

5°. Si determina una corrente aeriforme più o meno valida con uno di questi due mezzi: o aspirando o comprimendo. A questo riducesi l'opera del *soffietto.* Esso consiste in due lamine piane triangolari per l'ordinario di legno, che terminano con manico da un lato, e dall'altro fan capo allo stesso tubo in forma di cono tronco allungato; lateralmente poi sono congiunte con larga striscia flessibile di pelle così, che al loro discostarsi resta fra esse uno spazio piramidale tutto chiuso. Una delle due lamine à un foro, cui è applicata di dentro una valvola di cuoio: allorchè una forza allontana le due lamine, si opera il vuoto tra esse, l'aria esterna apre la valvola e vi penetra; e per converso allorchè quelle si avvicinano, l' aria compressa chiude la valvola, e sfugge pel tubo di uscita. Si ottiene a questo modo una corrente d'aria intermittente.

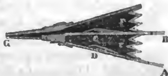


Fig. 131.

Se vuolsi disporre invece d' una corrente continua, si adopera il *mantice a doppio vento* (fig. 131). Son tre lamine unite con pelle in modo da comporre due scompartimenti C,F; due di quelle ànno

manichi A,B: la prima à pure un' apertura con valvola D che si apre in dentro, e la seconda à una simile apertura con valvola E, la quale stabilisce una comunicazione tra i due scompartimenti C, F; finalmente quest'ultima mette al tubo d'uscita G, dal quale l'aria deve essere lanciata. Ciò posto, quando si allontanano i due manichi A, B, la valvola D si apre, l'altra E si chiude, e l' aria esterna penetra in C; al contrario quando i manichi si avvicinano D si chiude, E si apre, e l'aria passa nello scompartimento superiore F. E poichè una molla o un peso tende sempre ad abbassare la terza lamina del soffietto, l'aria sfugge continuamente dal compartimento F pel condotto G. Se i moti alternativi dei manichi con rapidità si succedono, la corrente con questo doppio soffietto è abbastanza regolare.

Sul medesimo principio è fondata la costruzione delle grandi macchine destinate alla circolazione dell' aria nelle miniere. Per produrre l'aeramento nelle famose miniere di Hartz, affin di evitare l'attrito degli stantuffi come nelle ordinarie macchine pneumatiche, v' è una macchina aspirante composta d' un bilanciere oscillante, alle estremità del quale sono sospese due campane munite di valvole. Esse alternamente s' immergono in vasche d' acqua, alle quali fan capo due condotti comunicanti con la cavità della miniera; e così aspirando e premendo cagionano la voluta circolazione.

161. **Motori aerodinamici.** Impiegare una forza a porre l' aria in movimento per farla agire sopra una macchina, sarebbe operazione così assurda, come quella di attingere acqua per formarne una cascata che agisca sur un motore idraulico. Ma far passare nelle macchine la quantità di lavoro che possiede l'aria moventesi da sè, è cosa ben ragionevole, e vale altrettanto che l' uso della forza motrice d'una corrente o d'una cascata naturale.

V'à due maniere di macchine mosse dal vento: le une per azione diretta prendono un moto di traslazione; le altre non cangiano posto, ma acquistano moto alternativo o di rotazione.

Sono della prima specie le *vele*, il motore più semplice usato nella navigazione; cioè grandi superficie piane, cedevoli, atte a svolgersi e restrignersi a piacere, e a collocarsi in diverse direzioni secondo il bisogno. La direzione del moto dipende non pure da quella del vento, ma anche dalla posizione delle vele e dell'asse della nave. Se la superficie delle vele è perpendicolare all'asse

della nave, la pressione del vento normale alle vele cagiona un moto progressivo nella medesima direzione. Ma se la direzione del cammino deve essere altra da quella del vento, è necessario che le vele sien disposte obbliquamente all'asse della nave, e che pure inclinata cada sovr'esse la direzione del vento. Allora la pressione dell'aria, che non può non essere perpendicolare alle vele, cagiona un moto della nave obbliquo alla sua direzione: l'angolo di queste due direzioni può giungere sino a 60° nelle circostanze più favorevoli.

Di macchine fisse ve n'à parecchie, e fra le altre la più comune il *mulino a vento* à raggiunto la sua maggior perfezione. Esso componesi d'un asse leggermente inclinato all'orizzonte, 10 a 15 gradi, poichè la direzione del moto dell'aria per l'ordinario non è orizzontale, ma leggermente inclinata alla superficie terrestre. Al suo estremo sono impiantate quattro braccia perpendicolari tra loro e all'asse, e munite di vele. L'asse può volgersi così, che il piano di rotazione delle vele riesca sempre parallelo alla direzione del vento. L'esperienza à insegnato, che per conseguire dal moto d'un mulino il maggior lavoro utile è necessario ne sia tale la velocità, che il numero dei rivolgimenti in un minuto sia doppio del numero di metri percorsi dal vento in un secondo.

Comecchè vi sieno da per tutto correnti aeree a disporne per azione di macchine, delle quali e potenza e numero non avrebbero limiti di sorta, purtuttavolta la ineguaglianza ed incertezza del loro moto pari alla cagione che lo produce, le rendono assai meno vantaggiose delle macchine mosse dall'acqua di tal che solamente in mancanza di motori idraulici si ricorre agli aerodinamici.

AZIONE DEGLI AERIFORMI TRA LORO E CO' LIQUIDI E CO' SOLIDI.

162. **Mescolamento degli aeriformi.** Gli aeriformi a contatto, anche quando non esercitano azione chimica l'uno sull'altro si comportano ben altrimenti da quello che fanno liquidi di varia densità versati nel medesimo recipiente. Questi in equilibrio si dispongono a strati secondo l'ordine del loro peso specifico (129 4ª), quelli si mescolano completamente. Ecco una serie di esperienze, che dimostrano cotale effusione degli aeriformi.

1. Berthollet riempiti due globi a chiave, l'uno d'idrogeno l'altro di acido carbonico, alla medesima pressione e temperatura, soprappose il primo al secondo. Quindi collocò questo sistema ne'sotterranei dell'Osservatorio di Parigi, dove mai non accade alterazione

di calore; e quando fu stabilito l'equilibrio di temperatura, aprì le chiavi de'globi per mettere in comunicazione i due aeriformi. Comecchè l'inferiore, l'acido carbonico, fosse meglio che 22 volte più pesante dell'idrogeno, pure dopo breve tempo i duo gas eransi mescolati, e in ciascun globo furono trovate eguali proporzioni di acido carbonico e d'idrogeno.

Saggiati ugualmente altri aeriformi non esercitanti scambievole azione chimica, fu osservato per tutti lo stesso fenomeno. A questa tendenza espansiva de'gas a contatto deve attribuirsi la costanza nelle proporzioni di azoto e di ossigeno nell' aria atmosferica a tutte le altezze a cui è stata raccolta per sottoporla ad analisi.

2. Se pongasi a contatto dell'atmosfera una campana contenente un aeriforme, dopo qualche tempo la campana sarà vuotata interamente di quel gas, e si troverà piena invece di aria atmosferica. È questa una conseguenza di quel primo fatto; nè può avvenire altrimenti, poichè essendo indefinita l'atmosfera, nel mescolamento non vi sarà omogeneità fuorchè nel caso della completa dispersione del volume gassoso limitato.

3. Siffatta tendenza degli aeriformi a mescolarsi opera ugualmente attraverso corpi porosi. Infatti se una campana abbia di sopra un'apertura, che chiudesi con gesso recentemente impastato e prima di *far presa*, e collocatala sull'acqua vi s'introduca un aeriforme, questo ne sfugge, e nella campana trovasi come per l'innanzi sola aria atmosferica. Dopo un qualche tempo se interrompesi l'azione, si scopre che la quantità di aria penetrata nella campana è al gas uscito nella ragione inversa delle radici quadrate delle densità. Tali esperienze però non riescono ugualmente, qualunque corpo poroso si adoperi; se questo è permeabile ad un solo de' due aeriformi, esso unicamente il traversa, ed accresce la tensione dell'altro. Così se legato l'orifizio a una vescica piena d'aria, e bagnatala introducasi in una campana con acido carbonico, questo vi penetra, la vescica cresce di volume gonfiandosi e finisce col creparsi. Le ultime due esperienze son dovute alle ricerche di Graham.

163. Assorbimento degli aeriformi operato dai liquidi. Gli aeriformi messi a contatto de'liquidi ne sono assorbiti, li penetrano, e impropriamente si dice che vi si sciolgono. Le leggi che regolano questo assorbimento scoperte da Henry di Manchester e da Dalton sono le seguenti:

1ª. *I volumi assorbiti sono sempre gli stessi per un medesimo gas*

e per un medesimo liquido, purchè rimanga costante la temperatura, a qualunque pressione il gas è sottoposto; o poichè varia la densità come la pressione, possiam dire altrimenti che *le quantità assorbite sono proporzionali alla pressione*; e che *è costante la ragione tra le densità del gas assorbito e dell'atmosfera gassosa sovrastante*. Ad esempio i volumi aeriformi cui un volume di acqua assorbe a temperatura e pressione ordinaria sono

azoto	0,025	cloro	2	acido solforoso	50
ossigeno	0,046	cianogeno	2,5	gas ammoniaco	450
acido carbonico	1	gas solfidrico	4	acido cloridrico	480

2ª. *Le quantità di gas assorbite diminuiscono col crescere della temperatura*, ed in ragione molto più rapida dell'aumento di quella. Alla temperatura della ebollizione d'un liquido tutti gli aeriformi ne sfuggono presso che interamente.

3ª. *La quantità d'ogni aeriforme, che può essere assorbita da una stessa massa liquida, è indipendente dalla natura e dalle quantità di altri gas insieme assorbiti.*

Riesce agevole applicare le leggi esposte alla spiegazione de'fatti seguenti. Se in un'atmosfera d'un qualunque aeriforme ritrovasi un liquido che ne è saturato, al diminuire della pressione una parte se ne svolge, e sfuggirebbe tutto se la pressione divenisse nulla. Inoltre introdotto il liquido in uno spazio vuoto limitato si svolge dell'aeriforme una parte, finchè l'atmosfera formatasi eserciti pressione, sotto la quale sarebbe assorbito quello che ancor rimane nel liquido. Quando poi non un aeriforme solo, ma un miscuglio di parecchi sovrasta a un liquido, ciascuno d'essi sarà assorbito come se fosse solo, giusta la frazione di pressione, che gli è dovuta; così l'aria atmosferica essendo formata a un dipresso di 4/5 azoto, 1/5 ossigeno, l'acqua assorbisce i due aeriformi nelle stesse proporzioni. Da ultimo se un liquido, che à assorbito un aeriforme vien collocato in atmosfera gassosa differente e indefinita, il gas assorbito si svolge tutto, e 'l liquido s'impadronisce del secondo.

Cade qui in acconcio il seguente fatto del Marianini. Questi lasciò cadere in una provetta con acido carbonico una bolla formata di soluzione di sapone: la bolla rimase qualche tempo a galleggiare sull'acido carbonico perchè più denso, ma poi man mano presentò due fenomeni in apparenza opposti: gradatamente crebbe

di volume, e s'immerse sempre più sino a discendere al fondo. La spiegazione però no è evidente. Lo strato di soluzione formante l'inviluppo della sfera galleggiante imbevutosi di acido carbonico lo esalava nell'interno di questa, e perciò ne cresceva il diametro con la tensione; ed inoltre la sfera diveniva più pesante tra per l'acido introdottosi e per quello assorbito dalla sua soluzione.

161. Assorbimento degli aeriformi operato da' solidi. Anco i solidi sono atti ad assorbire gli aeriformi, e massimamente quando di per se sono molto porosi, o riduconsi in polvere. Le quantità assorbite sono differenti per ciascun solido, e per ciascnn aeriforme: crescono pure con la pressione, diminuiscono coll'aumento del calore a segno, che a temperatura più o meno elevata si svolge tutto l'aeriforme assorbito. Quindi il metodo da seguire nel saggiare il potere assorbente d'un corpo: prima si scaldi perchè emetta ogni sostanza gassosa, e poi s'introduca in campana graduata sul mercnrio contenente il gas, su cui si sperimenta: questo è assorbito, e 'l mercurio ascende nella campana. Così Saussure determinò i volumi aeriformi assorbiti da un volume di carbone di bosso, e sono segnati quì appresso:

idrogeno	1,75	gas solfidrico	35
azoto	7,50	acido solforoso	65
ossigeno	9,25	acido cloridrico	85
acido carbonico	35	gas ammoniaco	90

d'onde rilevasi che non ànno relazione con le gravità specifiche.

Fontana scoprì questo potere nel carbone, Saussure e parecchi altri lo estesero a tutt'i corpi porosi. Doebereiner il rinvenne puro e validissimo ne' più densi corpi che esistono in natura l'iridio e'l platino, ridotti però allo stato di *spugne*. Il platino spugnoso assorbisce meglio che 200 volte il suo volume d'ossigeno.

Da questo potere assorbente de' corpi porosi traggono origine due loro singolari proprietà.

1.ª *Forza catalitica.* Gli aeriformi assorbiti possono giungere a tale un grado di condensazione da risentire l'influenza dell'affinità, e si combinano insieme chimicamente senza che il corpo poroso prenda alcuna parte nella composizione. Quest'azione di presenza fu attribuita ad una forza detta *catalitica*. Così a contatto della spugna di platino si combinano ossigeno e idrogeno, ossigeno e azoto, idrogeno e azoto, e ne nascono acqua, acido azotico, gas ammoniaco.

2.ª *Svolgimento di calore, lampada idroplatinica.* Poichè ogni condensazione cagiona innalzamento di temperatura, si à pure svolgimento di calore quando i gas sono assorbili; il quale sovente giugne a tale da produrre arroventamento e combustióne. Questa è la cagione delle combustioni spontanee, cui va soggetto il carbone allorchè vien serbato a lungo in finissima polvere. Così pure si arroventa la spugna di platino, che à virtù di assorbire più intensa d'ogni altro corpo poroso, e però l'ingegnosa applicazione fattane nella *lampada idroplatinica.* Essa consiste in un vase AB (fig.132) contenente acqua con un decimo di acido solforico. Sovr' esso vien collocato il coverchio metallico AC, il quale nel centro à un foro comunicante inferiormente con una campana, in cui è sospeso un pezzo di zinco D, e di sopra à una chiavetta a molla EF con un tubo di uscita orizzontale. Messo il coverchio al suo posto e aperta la chiave, sfugge dalla campana l'aria che vi si contiene, e andando l'acqua acidulata a contatto dello zinco si svolge idrogeno. Chiusa poi la chiave, il gas imprigionato nella campana preme sulla superficie dell'acqua: il livello di questa si abbassa finchè lo zinco non sia più a contatto del liquido, ed ascende all'esterno. Laonde nell'istante in cui si apre la chiave, la pressione del liquido esterno obbliga il gas a sfuggire con getto orizzontale, il quale incontra la spugna di platino contenuta nella gabbia G l'arroventa e s'accende (*).

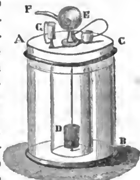


Fig. 132.

APPARECCHI NE'QUALI LO SCOLO DE'LIQUIDI È MODIFICATO DALLA PRESSIONE ATMOSFERICA.

165. Influenza della pressione atmosferica nello scolo dei liquidi. In trattare dello scolo dei liquidi non abbiamo tenuto conto della pressione atmosferica (152). Ma grande de-

(*) Alcune avvertenze per allontanare ogni pericolo nell'uso di tanto utile macchinetta, e per ridonare alla spugna di platino l'attività che perde talvolta, si rinvengono nelle annotazioni da me apposte ai *Primi elementi di chimica del Regnault.* Napoli 1855.

ve essere la parte, che questa vi prende, e i teoremi dimostrati àn luogo solamente quando le due pressioni atmosferiche sulla superficie di livello e sulla sezione del foro si pareggiano. Se le due pressioni non sono uguali, sarà modificata la velocità: anzi per questa ineguaglianza di pressione potrà avvenire un movimento in quelle circostanze, nelle quali il liquido resterebbe in equilibrio. E che sia così, introducasi nell'acqua un tubo aperto ai due lati: quella sale nel suo interno all' istesso livello che all' esterno. Ma se aspirisi di dentro, l' acqua sale di quanto la pressione esterna supera l' interna: e poniamo che aspirando si giungesse a torre tutta l' aria dal tubo, e questo fosse lungo abbastanza, l'acqua ascenderebbe sino a 32 piedi per fare equilibrio a tutta intera la pressione dell'atmosfera. E per converso soffiando nel tubo, il livello interno si abbassa per l' aumento della pressione interna; e allorchè questa pressione giunge a superare la esterna di tanto, quant'è il peso della colonna d' acqua che trovasi nella parte immersa del tubo, l' aria spinta di dentro non pure vuota interamente il tubo d'acqua, ma n'esce di sotto, e gorgogliando attraverso la massa liquida ascende.



Fig. 133.

Di qui si comprende l' azione di quel *tubo da saggio* (fig. 133) detto comunemente il *ladro*, destinato a torre da un serbatoio piccola quantità di liquido per farne esperimento. S'immerge tutto in esso, e poi turatolo di sopra se ne solleva pieno di liquido: operando all'istesso modo, ma dopo averne immersa solo una porzione, ne fluirebbe alquanto di liquido finchè la parte rimastavi insieme con l' aria interna divenuta più rara eserciti una forza premente uguale a quella dell'atmosfera. In ambo i casi tutto il liquido vien giù pel proprio peso in quel che si toglie il dito, poichè allora l'atmosfera esercita pressione uguale anche di sopra.

Se cotal tubo avesse grande diametro, il fatto non riuscirebbe; poichè la colonna liquida non resterebbe unita, e l'aria esterna penetrandovi la farebbe tutta versare. Con ciò si spiega quel volgare esperimento del colmare d'acqua un bicchiere, e poi applicata una carta all'orifizio capovolgerlo: la carta non à altro uffizio che di tenere unita la colonna d'acqua: questa non cade per la sola pressione atmosferica, che si esercita di basso in alto contro la carta: ne è argomento il prendere questa all' esterno superficie concava.

Possiamo formolare dunque così la influenza della pressione atmosferica sul moto dei liquidi. ***Se le pressioni sono nulle, o uguali dai due lati, nulla è pure la influenza; allorchè restando una delle due pressioni uguale alla pressione atmosferica, l'altra ne diventa maggiore o minore, vi sarà movimento proporzionale alla differenza delle pressioni.***

Seguono le prove e le applicazioni di questa legge.

166. Sifone. Consiste il *sifone* in un tubo ABC (fig. 134) piegato ad arco o comunque altrimenti con due lati ineguali paralleli oppur no, ma rivolti pel medesimo verso; ed è destinato a vuotare di liquido un recipiente senza forarlo nè inclinarlo. La più corta branca A immergasi nel liquido da travasare, e poi si aspiri per la estremità C, il che dicesi *adescare il sifone*; il liquido ascendendo per A riempirà il sifone, e comincerà a versarsi per C: cessando allora di aspirare, avrassi uno scolo continuo, il quale durerà finchè il livello nel recipiente non si sarà abbassato al di sotto dell'orifizio del sifone. La spiegazione ne è evidente. La pressione atmosferica in A determina il liquido a salire per AB, e favorisce lo scolo: per converso la stessa pressione si esercita nel punto C, e si oppone allo scolo. Queste due pressioni sono uguali; ma la prima deve sostenere una colonna minore di liquido, la seconda sorregge una colonna più alta; e però la pressione sul liquido interno vince la esterna, e 'l liquido scorre. Si valuta la differenza d'altezza delle colonne liquide nei due rami con protrarre la superficie di livello AD: la colonna DC misura la velocità dello scolo.

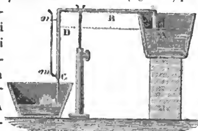


Fig. 134.

Qualunque altro modo si usi per riempire il sifone varrà ugualmente a metterlo in azione: capovoltolo ad esempio, e colmatolo se ne chiudono gli estremi A, C, per riaprirli quando A pesca nel liquido. Affin di rendere meno incommoda l'aspirazione, verso l'estremo C del ramo lungo s' innesta un tubo *mn*; si aspira per *n*, chiuso il foro C, che si apre quando la branca DC è piena.

Dalla esposta teoria è agevole dedurre le seguenti illazioni.

1°. Se le branche del sifone fossero uguali, al cessare dell'aspirazione il liquido resterebbe in equilibrio nel sifone pieno, per es-

sero uguali così le pressioni dell'aria ai due lati, come le colonne liquide da essa sostenute.

2°. Se il braccio esterno fosse più corto dell'interno, cessata l'aspirazione il liquido tornerebbe nel serbatoio A ; poichè dovendo la pressione esterna sorreggere una colonna minore varrebbe più che la pressione interna, cui si oppone una colonna più alta.

3°. In uno spazio vuoto il sifone non opera ; e se dopo averlo riempito si collocasse al suo posto, il liquido pel suo proprio peso parte ritornerebbe nella vasca A, parte si verserebbe per C.

4°. È pure senza effetto il sifone , ove la porzione di tubo, che risponde alla vasca A, e sollevasi sul livello del liquido, sia più alta di quanto richiedesi ad equilibrare la pressione atmosferica.

Coppa di Tantalo; sorgenti intermittenti. La vasca, cui si dà il nome di *coppa di Tantalo*, perchè sarebbe vano sperare che l'acqua, comunque in copia versatavi , giungesse mai a colmarla , ha un foro nel fondo, al quale con sughero o altrimenti è applicato un sifone (fig. 135). Versatavi dell'acqua, questa vi rimane finchè il suo livello AB non raggiunge il punto culminante C del sifone, che si adesca da se medesimo; allora comincia lo scolo e continua insino a che la estremità del ramo corto pesca nel liquido. Può sostituirsi al sifone un tubo dritto (fig. 136) aperto ai due estremi, e coverto con una campanina chiusa in alto e con in giù un foro da un lato : con siffatta disposizione il tubo dritto rappresenta una delle branche del sifone , e l' altra vien formata dallo spazio che rimane tra esso e la campana.

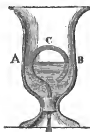


Fig. 135.

In questi casi il sifone cagiona uno scolo intermittente ; poichè dopo essersi vuotato all' intutto il liquido cessa di fluire , e ricomincia quando il livello raggiunge di nuovo il punto culminante C. Laonde al sifone operante a questo modo si fa ricorso per dare spiegazione di quelle sorgenti naturali , che diconsi *intermittenti*, allorchè i periodi ne sono regolari , come diremo nella fisica terrestre. Suppongasi difatti nell' interno del monte una cavità A tutta chiusa (fig. 137), in cui raccolgonsi le

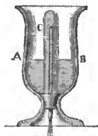


Fig. 136.

acque piovaticce, che s' infiltrano pei terreni permeabili, o per le fenditure esistenti negli strati superiori. Da questo cotal serbatoio sorga una specie di canale fino a certa altezza, e poi ripiegandosi in giù a modo di sifone vada a terminare in B. È chiaro, che quando il livello dell'acqua ascendente nella cavità e nel condotto sarà pervenuta al punto culminante C, quella si verserà per CB dando origine ad una sorgente;

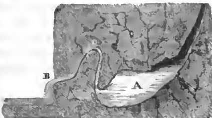


Fig. 137.

questa si arresterà allorchè nel serbatoio il livello si sarà abbassato sino all' altezza dell' apertura B, per ricominciare non prima che abbia raggiunto novellamente il punto C.

167. **Filtro a pressione costante.** *Il filtrare* consiste in obbligare un liquido a traversare una carta, o altro corpo a fitto tessuto e permeabile; restano sul filtro le sostanze sospese nel liquido che ne turbavano la trasparenza, e questo ne stilla limpido di sotto. Ma se trattisi d'un liquido volatile, fuggirebbe in vapore da un filtro aperto, ed allora si usa l'*apparecchio di spostamento* (fig.138). Esso componesi dell'*allunga* B con sopra un foro a turacciolo smerigliato, e avente in giù una chiave C; viene introdotta a sfregamento nell'orifizio d'una bottiglia A: inoltre ànno entrambe una seconda tubulatura, e tra esse il tubo *mn*. Ciò posto, si aggiusti del cotone o dell'amianto nel collo dell' allunga, vi si versi il liquido da filtrare, e si applichi il turacciolo a smeriglio: aperta allora la chiave, incomincia tosto a stillarne il liquido chiaro. Ma ben presto cesserebbe lo scolo tra pel condensarsi dell'aria nella bottiglia A, e pel rarefarsi di quella dell'allunga B. Perchè ciò non avvenga, si è aggiunto il tubo *nm*: l'aria spostata dalle gocciole cadenti nella bottiglia va a supplire il difetto di pressione di quella che si rarefà nell'allunga, e la operazione continua a pressione costante.

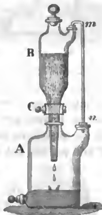


Fig. 138.

Anche impiegando il filtro ad aria libera fa bisogno talvolta della

disposizione speciale rappresentata nella fig. 139. Riempito di liquido il filtro A ed il pallone B, si capovolge quest'ultimo e si sovrappone a quello così, che il suo orlo sia immerso nel liquido. Quando il livello nel filtro si abbassa, penetra dell'aria nel pallone, e ne esce altrettanto di liquido. Così il filtro è sempre pieno, e la filtrazione è accompagnata costantemente dalle medesime condizioni.

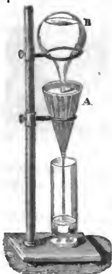


Fig. 139.

168. **Lampade a serbatoio laterale.** Riesce agevole intendere come serbisi costante il livello del combustibile nelle tante maniere di lampade a serbatoio laterale, come in quella *alla Locatelli*, nel *quinquet* e somiglianti. Il serbatoio è cilindrico, e l'apertura ne è chiusa con valvola, la quale porta in fuori sporgente un'asta: riempitolo di olio, e chiusa la valvola, si capovolge e s'introduce in una cavità comunicante mercè un tubo leggermente inclinato col becco, nel quale è il lucignolo. Si apre la valvola per l'incontro dell'asta col fondo, e rimane sempre aperta finchè non si alza il serbatoio; ma il liquido non si versa per la pressione atmosferica sul livello nel becco. Intanto per capillarità ascende il combustibile pel lucignolo: e quando ne rimane vuota la estremità inferiore del becco, l'aria penetra nel serbatoio e ne sfugge altrettanto di olio.

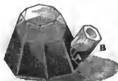


Fig. 140.

Somigliante è la maniera di azione, che si avvera nel *calamaio a livello costante* e nel *vase da far bere gli uccelli*. Il primo (fig. 140) è un serbatoio chiuso con un tubo AB congiunto a gomito e comunicante coll'aria esterna. Nell'atto di riempirlo d'inchiostro inclinandolo dal lato del serbatoio, l'aria n'esce, e poi la pressione esterna ve 'l mantiene. Ma consumato con l'uso il liquido nel tubo AB, ed abbassato in esso il livello al disotto del gomito A, una bolla d'aria penetra nel serbatoio, e ne fa uscire altrettanto di liquido; e così di seguito. Il vantaggio di questa forma è riposto in ciò, che non essendo a contatto dell'aria la maggior parte del liquido, con difficoltà muffa o si svapora. Uguale in tutto è la co-

struzione e l'agire del vase da far bere gli uccelli, sol che l'aspirazione cagionata dal volatile esaurisce l'acqua nel tubo insino al gomito, e il rimanente procede com'è detto. V'è pure un'altra specie di calamaio a livello costante, che dicesi *a tromba*, la costruzione del quale si fonda piuttosto sulla teoria de'vasi comunicanti. Esso componesi d'un serbatoio cilindrico S (fig. 141) comunicante da un lato col tubo o vaschetta AB: è scorrevole nel serbatoio, lasciando anche dello spazio intorno, un cilindro di porcellana C raccomandato a una verga avente un maschio di vite in alto: la chiocciola è nell'interno del bottone C fissato alla sommità del coverchio; e però girando il bottone per un verso o per l' altro si può sollevare o abbassare il cilindro C. Or poichè pel coverchio D à libero accesso l'aria esterna, e v'è piena comunicazione tra la vaschetta e 'l serbatoio, è chiaro che in entrambi è lo stesso il livello del liquido: e però volgendo come conviene il bottone D, si determina una maggiore o minore immersione del cilindro C, e quindi si porta il livello B all'altezza che piace.

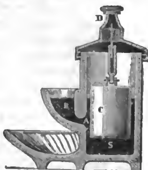


Fig. 141.

169. **Fontana intermittente.** Un serbatoio C (fig. 142) con orifizio in alto chiuso da turacciolo smerigliato à nel basso varî becchi D, D, . . pe' quali può fluirne l' acqua, di che è pieno fino a certa altezza. Vien traversato da un tubo, che lo sostiene, e col suo orlo inferiore tagliato obbliquamente, a sbieco, si avvicina assai dappresso a un bacino B: questo bacino nel centro à un foro più stretto, che non è la somma delle sezioni de'becchi D, D...

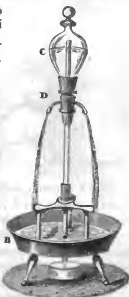


Fig. 142.

Da principio l' acqua scaturisce pel proprio peso dai becchi D, D..., poichè si pareggiano le due pressioni interna e esterna; ma cadendo

nel bacino B una quantità di liquido maggiore di quella che può uscirne pel suo foro centrale, il livello vi si alza, e intercetta la comunicazione tra l'aria del serbatoio C e la esterna. Quella dilatasi, e quando la sua pressione diunita al peso del liquido C è minore della pressione esterna, lo scolo si arresta. Continua intanto a versarsi acqua dal bacino B; il suo livello si abbassa, e in modo da stabilire di nuovo comunicazione tra l'interno e l'esterno; per che cresciuta la elasticità dell'aria C, lo scolo si rinnovella. È bello osservare che, quando vien meno il getto liquido, sollevasi una colonna d'acqua nel tubo che sostiene il serbatoio, e con ciò si rende sensibile l'eccesso della pressione esterna sulla interna; nell'atto poi di ricominciare, ascende l'aria gorgogliando attraverso quella colonna, la quale all'istante si deprime. La durata delle intermittenze dipende dalla relazione tra la sezione del foro nel bacino B, e quelle dei becchi di scolo.

170. **Getto costante, vase di Mariotte.** Il *vase di Mariotte* (fig. 143) consiste in un serbatoio con foro in alto chiuso da turacciolo smerigliato, e con uno o più fori laterali A, B, C. Riempitolo interamente di acqua, ed applicato il turacciolo, si apre da principio un solo qualunque de' fori laterali: è chiaro che l'acqua non potrà sgorgarne impedita dalla pressione atmosferica, che opera solo all'esterno. Ma se apriam due fori, A, B, la pressione atmosferica agisce pure ugualmente in essi di fuori in dentro, ma deve sostenere colonne d'acqua ineguali, in A minore, maggiore in B: l'aria esterna dunque penetra bolla a bolla per A, e introdottasi determina uno scolo per B. Questo avviene con velocità costante (143,4°) corrispondente all'altezza liquida AB, finchè il livello non sarà disceso al di sotto del foro A; stante che la pressione atmosferica sorregge da se il liquido del serbatoio al disopra del foro. Più veloce dunque fluirebbe l'acqua se fosse maggiore la distanza tra il foro d'entrata dell'aria, e quello d'uscita del liquido; come ad esempio se chiuso il foro B si aprono A e C: la velocità corrisponderebbe all'altezza AC. Da

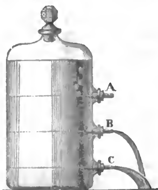


Fig. 143.

ultimo se apransi contemporaneamente i tre orifizi A, B, C, sarà più copiosa la corrente di aria entrante per A, e due getti liquidi sgorgheranno insieme pe' due fori B e C, ma con velocità ineguali dovute alle altezze AB,AC.

Al vase di Mariotte si può dare anche la forma della fig. 144. All'orifizio superiore si aggiusti un tubo aperto ai due estremi, e si lasci un solo foro laterale B. Essendo il vase pieno, e la estremità inferiore A del tubo al di sopra di B, l'aria esterna penetrerà per quella, e si avrà in B un getto con velocità costante, perchè rispondente alla distanza verticale tra i due punti A e B, finchè il livello non si sarà abbassato al disotto del punto A. Adunque siffatta disposizione è vantaggiosa per variare la velocità dello scolo con rendere il tubo scorrevole nel sughero. Che se A discendesse alla medesima linea orizzontale del foro B, lo scolo si arresterebbe; e se andasse anche più giù, penetrerebbe qualche bolla d'aria per B, e alquanto d'acqua s'introdurrebbe per A nel tubo.

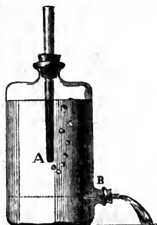


Fig. 144.

171. Getto zampillante. In tutti gli ordigni descritti sin qui, avviene lo scolo o pel peso del liquido quando da ambo i lati l'atmosfera esercita intera la sua pressione, o perchè questa da un lato è minore. Accade altrettanto se la pressione da un lato eguaglia quella dell'atmosfera, e dall'altro ne è maggiore: e inoltre se l'orifizio è in alto, il getto sarà zampillante. Vediamone degli esempi.

1.° *Fontana di compressione.* Essa componesi di un vase K (fig. 145) con pareti ben resistenti, al cui orifizio si unisce a vite una goliera di metallo con chiave C. Questa porta inferiormente un

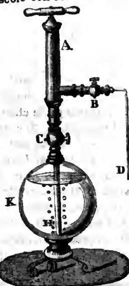


Fig. 145.

tubo, che si protrae fin quasi al fondo del vase, e in alto si può innestare a vite con una tromba premente A. Riempito il serbatoio di acqua fino a certa altezza, ad ogni colpo di stantuffo vi si caccia tant' aria quanta è la capacità della camera di tromba; la quale si vede gorgogliare por H attraverso l'acqua, e va ad accrescere la densità di quella che sovrasta al liquido. Ciò fatto, se chiusa la chiave si toglie via la tromba, e in sua vece si pone un becco ad uno o più fori, e poi si apre la chiave, ne verrà su un getto zampillante. È chiaro che esso perverrebbe ad un'altezza di tante volte metri 16,33, di quante atmosfere la elasticità dell'aria interna supera la esterna; ma per le cagioni altrove esposte (143,2) rimane assai più basso. Inoltre da principio il getto è più alto, ma lo divien sempre meno per gradi, spandendosi l'aria interna nello spazio lasciato dall'acqua che è spinta fuori.

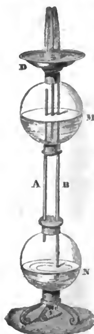


Fig. 146.

Di somigliante apparecchio si può fare uso per comprimere un aeriforme in un serbatoio contenente liquido, perchè lo assorbisca. In questo caso alla camera di tromba A è innestato un tubo a chiave B, a cui fa capo il condotto D, pel quale viene l'aeriforme. Aperta la chiave B, allorchè lo stantuffo sale il gas riempie la tromba; chiusa poi la chiave, e abbassato lo stantuffo, viene spinto nel serbatoio K. Si comprime così l' acido carbonico, e si compongono le acque dette *acidule* o *gassose* artificiali.

2.° *Fontana di Erone.* Si ottiene pure un getto zampillante mercè la *fontana di Erone,* così detta dal nome dell'inventore, che vivea in Alessandria l'anno 120 prima della nostra era. Tra le sue varie forme la più elegante (fig. 146) si compone di due globi M, N, d'un bacino D, e di tre tubi. Un primo tubo parte dal bacino D, e si protrae fin presso al fondo del globo M; il secondo A comincia dalla sommità del globo M e si termina nell'alto del globo N; il terzo B finalmente stabilisce comunicazione tra il bacino D, e la parte infima del globo N. Messa questa distribuzione di parti sarà agevole intendere l'operar della macchina. Si toglie il primo tubo, e introdotta pel foro corrispondente dell'acqua nel globo M, si ri-

pone come prima al suo posto : si versa poi acqua nel bacino D; questa discendendo per B nel globo N, ne scaccia altrettanto d'aria, la quale ascende per A, si unisce all'aria del globo M, e l'addensa. L'aria così compressa esercita sull' acqua pressione maggiore di quella dell' atmosfera, e cagiona un getto ascendente.

172. **Trombe, loro elementi, e specie.** Gli ordigni più adatti a sollevare i liquidi sono le trombe. Sovente abbiam dovuto adoperarle, ora le descriviamo di proposito. Una tromba vien costituita da un serbatoio fisso, per l'ordinario di forma cilindrica, che dicesi *camera di tromba*, il quale a determinati intervalli comunica con tubi adduttori del liquido attraverso fori chiusi da *valvole*, e di uno *stantuffo*.

Valvola è un turacciolo mobile così, che si apra solamente per un verso: à mille forme svariate: ecco le principali (fig. 147). A è una *valvola a cerniera* di metallo rivestita di cuoio, o tutta di cuoio, attaccata da un lato all'orlo dell'apertura. B è una *valvola a cono* avente forma di cono tronco, come il foro cui corrisponde: è guidata da un'asta che traversa una briglia collocata inferiormente, e finisce in giù con una testa per impedire che si scosti molto dal foro. C è una *valvola a palla*: à figura sferica come l'orlo del foro : per la sua simmetria il chiude sempre esattamente, nè à bisogno di guida: v'è solo un' appendice in alto, che ne determina la corsa. Si usano anche le valvole di semplici membrane attaccate a due punti opposti del foro, e più altre.

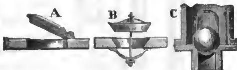


Fig. 147.

Lo *stantuffo* à la forma della camera di tromba, alla cui parete deve aggiustarsi a capello; quindi è pure un cilindro, ma di altezza assai minore; si compone di più cuoi sovrapposti, e tenuti stretti insieme con chiavarda: talora è massiccio, tale altra è traversato da fori muniti di valvole.

Possiam distinguere le trombe in tre specie, dette *trombe aspiranti, trombe prementi, trombe aspiranti insieme e prementi*. Una tromba *aspirante* innalza l'acqua pel vuoto che si produce nel tubo adduttore, il quale dicesi *tubo di aspirazione*, quando lo stantuffo sale. Una tromba *premente* à la sua camera collocata nella vasca, donde l'acqua deve essere attinta: allorchè lo stantuffo scen-

de la comprime, e la spinge in alto. L'*aspirante e premente* riunisce in uno le due azioni.

Esaminiamo dapprima la costruzione della tromba *aspirante ed elevatoria* espressa nella figura 148. Il tubo di aspirazione A s'innesta con la camera di tromba B, ed il foro ne è chiuso con valvola, che si apre di basso in alto. Per mezzo della leva P si dà un moto di va e vieni allo stantuffo, il quale à una valvola O in tutto simile alla precedente. Infine la sommità della camera di tromba comunica col tubo adduttore C, entro cui si muove l'asta dello stantuffo, e col serbatoio D munito di becco o di condotto per menare l' acqua dove piace.

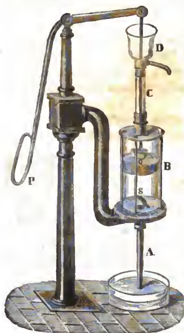


Fig. 148.

Ciò posto, allorchè lo stantuffo dalla sua posizione infima si solleva, la valvola O è chiusa: si produce dunque un vuoto nella camera di tromba sotto lo stantuffo, e però la pressione atmosferica spinge l' acqua nel tubo di aspirazione, la quale apre la valvola S: l'acqua vien compressa sotto lo stantuffo, ne apre la valvola O, e passa al di sopra. Laonde allorchè lo stantuffo sale di nuovo, l'acqua da esso sostenuta viene pel tubo adduttore C nel serbatoio D, mentre sotto lo stantuffo il tutto si opera come prima; e così di seguito. Si rifletta però che nel porre in opera la tromba, i primi colpi di stantuffo non elevano già l' acqua insino a D, sibbene rarefanno ed espellono l'aria, di che trovansi pieni e la camera di tromba, e'l tubo di aspirazione: l'acqua sale intanto, ma non perviene alla base dello stantuffo se non quando tutta l'aria è stata espulsa.

Non è malagevole calcolare lo sforzo necessario per sollevare lo stantuffo. A tal fine valutiamo le pressioni che esso s offre sulle due superficie inferiore e superiore, allorchè la camera di tromba

e 'l tubo adduttore son pieni di liquido. Lo stantuffo ascendente è spinto in su dalla pressione atmosferica diminuita del peso d'una colonna d'acqua, che dal livello della vasca si eleva fin sotto la base dello stantuffo; e la superficie superiore è premuta in giù dalla pressione atmosferica accresciuta del peso della colonna di acqua, che si contiene tra lo stantuffo e 'l becco D. Adunque la differenza tra le due pressioni, che si oppone al moto ascendente dello stantuffo, può essere espressa col peso della colonna d'acqua alta quanto la distanza verticale tra il livello nella vasca e 'l tubo di scolo.

È ben manifesto che per agire una tromba di questo genere, la base dello stantuffo non può distare dal livello nella vasca più che metri 10,33, quant'è la misura della pressione atmosferica valutata in acqua. Se fosse altrimenti, il liquido non seguirebbe lo stantuffo ascendente, e si formerebbe una specie di barometro ad acqua. Pur tuttavolta pe'difetti, che non è possibile evitare nella costruzione di una tromba, l'esperienza ci à insegnato, che il tubo di aspirazione deve avere lunghezza non maggiore di 8 metri. A partire da questo punto sino a qualunque altezza senza limite si voglia portare l'acqua, si deve far uso della tromba *premente*, ed in ciò è riposta la essenzial differenza tra l'effetto di questa, e della tromba aspirante. Vale pure in questi casi una tromba *aspirante e premente*, la quale non è altro che una tromba premente, di cui la camera non è all'orlo della vasca, ma è munita di tubo di aspirazione: lo stantuffo ascendente attinge l'acqua aspirando, lo stantuffo discendente comprimendola la porta all'altezza voluta. Laonde se ben si consideri la tromba della fig. 148 è appunto aspirante e premente ; ma la pressione si esegue al salire non al discendere dello stantuffo.

Tromba aspirante e premente a serbatoio d'aria. In tutte coteste specie di trombe il moto dell' acqua è *intermittente* ; avviene solo in una delle due corse dello stantuffo o ascendente, o discendente. Per averlo continuo si usa la tromba espressa nella fig. 149. In essa v'è pure un tubo d'aspirazione A , e una valvola S aprentesi tra quello e la camera di tromba come nella fig. 148, ma lo stantuffo B è pieno e senza valvola. Inoltre nel fondo della camera di tromba v'è un foro con valvola O che si apre di sotto in sopra, e ne parte un condotto $Oab O'$, che va a terminare con valvola aprentesi di sotto in sopra nel serbatoio d'aria M. Questo è chiuso tut-

l'intorno, fuorchè nel fondo superiore, pel quale è traversato dal tubo di ascensione D, che discende fin oltre la sua metà. Ciò posto, allorchè lo stantuffo B si abbassa, l'acqua compressa nella camera di tromba viene pel condotto *OabO'*, del quale apre le due

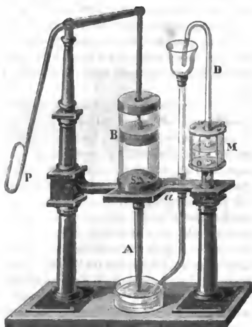


Fig. 149.

valvole, nel serbatoio M, e vi rimane, scacciandone l'aria pel tubo D. Ma quando il suo livello à raggiunto l'orlo inferiore del tubo D, l'aria vi resta imprigionata, e l'acqua vegnente la comprime; allora essa preme alla sua volta l' acqua sottoposta, e ne determina l'uscita pel tubo D. Se ad ogni colpo di stantuffo l'acqua viene in copia sufficiente nel serbatoio, il getto pel tubo D sarà continuo, e'l moto di va e vieni porterà seco non altro che una oscillazione nel livello M, e variazioni poco significanti nella velocità dello scolo.

Tromba a doppio effetto. Per ottenere un getto perenne furono anche proposte le trombe *a doppio effetto.* Ànno un duplice sistema di valvole, e sollevano acqua in ambe le corse dello stantuffo. Queste però sono poco in uso tra perchè essendo troppo compli-

cate àn sovente bisogno di riparazione, e perchè il vantaggio che in apparenza se ne ottiene svanisce in realtà se si pone mente, che producono un doppio lavoro *utile*, ma impiegando un doppio lavoro *movente*. Relativamente alla quantità d'effetto vale del pari o meglio una tromba ad effetto semplice con uno stantuffo di doppia base. Per conseguire poi continuità nel getto si preferisce l'artifizio descritto nella tromba a serbatoio d'aria.

Tromba ad incendio. La tromba destinata a spegnere gl'incendi si compone d'un sistema di due trombe prementi con serbatoio d'aria (fig. 150). Lo loro camere van collocate nella vasca d'onde l'ac-

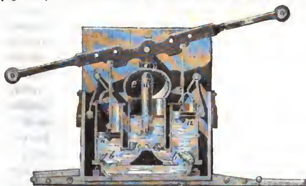


Fig. 150.

qua si attigne: gli stantuffi *a*, *a'* si muovono con moto alternativo mercè manovella a braccia assai lunghe, su cui operano molti uomini insieme: uno stantuffo sale mentre l'altro scende, e fanno così le veci d'una tromba *a doppio effetto*. È pure alternativo il moto delle valvole *b*, *b'*, *c*, *c'*, delle quali le prime chiudono i fori di comunicazione tra la vasca e le camere, le seconde tra le camere e 'l serbatoio d'aria *e*. In questo serbatoio è il tubo d'ascensione *dd'*, pel quale l'aria compressa determina l'acqua ad uscire. La porzione esterna del tubo è quanto può dirsi flessibile, affin di poterla dirigere dove meglio piace: è molto corta per averne all'uscita un ampio getto e che possa venir lanciato in distanza: da ultimo il tubo à grande diametro, fuorchè all'orifizio dove si strigne, con che l'acqua il percorre lentamente e però con tenue attrito, e solo in uscirne acquista la velocità che bisogna.

173. Bottiglia aspirante. Si dà questo nome ad una bottiglia, che à per uffizio obbligare l'aria esterna o altro aeriforme

a penetrarvi passando per determinati ordigni, che mediante tubi di caoutchouc comunicano fra di loro e col suo collo, mentre l'acqua, di cui essa è piena, si versa per un foro a chiave inferiormente. Il suo uso è frequente sovrattutto allorchè si vuole disseccare un aeriforme, e nelle analisi.

174. Vasche idro-pneumatica, e idrargiro-pneumatica. Per raccogliere gli aeriformi adoperano i chimici il *tino ad acqua* o quello *a mercurio.* Sono di differenti forme. Quello a mercurio ch'è di marmo o meglio di cristallo o porcellana è incavato così, che con la minima quantità di liquido si presti bene al riempimento delle provette o piccole campane che fan bisogno. Quello ad acqua in generale è una cassa D (fig. 151) a parallelepipedo rettangolo di legno foderata di piombo. La campana E, che deve ricevere il gas, si riempie d'acqua immergendola nella vasca, e poi sempre dentro il liquido si capovolge e bellamente si solleva per poggiarla sopra una tavoletta con varî fori ad imbuto, che la sostiene nell'atto dell'operazione coll'orlo immerso di alquanti centimetri. Se la campana à una chiave in alto, s'immerge nell'acqua dopo aver aperta la chiave: il liquido ne scaccia l'aria e ne occupa il posto; così riempitala si chiude la chiave, e può quindi innalzarsi e adagiarsi sul sostegno.

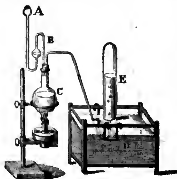


Fig. 151.

Ad esempio debba svilupparsi il gas per virtù di calore da sostanze riposte in un matraccio C. Applicato al collo del matraccio un tubo di svolgimento che termina nel liquido della vasca, e sotto quello una lampada, si vedranno immediatamente gorgogliare nel tino delle bolle gassose. Queste da principio non debbono essere raccolte, poichè non sono altra cosa che aria esistente nel matraccio dilatata dal calore. Ma quando si giudica che tutta l'aria è stata espulsa, si appressa la campana E per modo che la estremità del tubo di svolgimento le corrisponda; le bolle gassose ascendenti nel tino vengon su pure nella campana, e ne espellono quant'è il lor volume di acqua. Si avrà argomento d'essersi riempita tutta la campana di gas quando si sarà vuotata d'acqua.

Tubo di sicurezza. Si dà questo nome al tubo AB aggiustato insiem col tubo di svolgimento al collo del matraccio C. Può avere varie forme, ma sempre una porzione di sua lunghezza deve esser ricurva a modo di sifone con piccola quantità di liqnido, acqua o mercurio, e presenta inoltre uno o dne rigonfiamenti contenenti aria. Fn ideato da Welter per ovviare ai pericoli cui si va incontro nelle operazioni chimiche, qnando la elasticità del gas contenuto in un serbatoio C diventa molto maggiore o minore della pressione esterna. Ed in vero nel primo caso potrebbe accadere uno scoppio; e nel secondo, come quando mancasse d'un tratto lo svolgimento gassoso o si rimovesse inavvedutamente la lampada dal recipiente, l'aria esterna spingerebbe l'acqna del tino nel matraccio fortemente riscaldato, avverrebbe cioè un *assorbimento,* e non meno gravi ne sarebbero le conseguenze. Or per intendere come la presenza del tubo di sicurezza cessi l'uno e l'altro danno si rifletta, che se la elasticità dell' aeriforme uguagliasse quella dell' atmosfera il liquido del tubo ascenderebbe del pari ne' due suoi rami: essendo ineguali, il livello si abbassa dal lato della pressione più valida, e per cotal guisa compie in certo modo le funzioni di manometro. Ma quando la pressione interna fosse molto maggiore della esterna, il liquido sarebbe espulso dal tubo, o non potrebbe temersi esplosione; nel caso contrario tutto il liquido dall'aria esterna verrebbe spinto nella palla, e quella traversandolo ristabilirebbe l'eqnilibrio.

Avvertenze riguardanti la densità degli aeriformi. Nel raccorre un gas allora solamento la sua elasticità pareggia qnella dell' atmosfera, qnando si uguagliano le altezzo delle colonne liqnide nella campana e nella vasca. Se si arrestasse l' operazione qnando la colonna interna rimane ancora più alta, com'è espresso nella figura, si avrebbe indizio che la elasticità del gas è minore, e si argomenterebbe maggiore se quella scendesse al disotto della esterna. Laonde perchè nel determinare la densità degli aeriformi è necessario che sieno sottoposti alla stessa pressione, cioè a dire a quella dell' atmosfera (149, 2ª), fa d' nopo che sia nno il livello e dentro e fuori. E consegnentemente conviene si cessi dall'agire in quel preciso istante, o pnre si abbassi o si sollevi la campana finchè quella condizione si compia con tntta esattezza; o finalmente, giusta la legge di Mariotte (153) sarà agevole ridurre a qnel che diventerebbe sotto la pressione atmosferica il volnme d'un aeriforme raccolto sotto pressiono minore o maggiore.

LIBRO QUINTO

ACUSTICA.

NATURA E CARATTERI DEL SUONO.

175. Oggetto dell'acustica. Lo studio del *suono* si appartiene alla fisiologia, alla musica ed alla fisica; ma sotto tre aspetti differenti. La fisiologia lo considera in quanto agisce sull' organo dell'udito, e vi produce una sensazione ; la musica relativamente agli effetti ch'è capace d'ingenerare nell'animo; l' *acustica*, che è parte della fisica, à per oggetto quanto v'à di fisico nel suono, ossia le *vibrazioni* del corpo *sonoro* che lo produce, del mezzo che il trasmette sino all'udito, dell'organo che lo percepisce.

176. Natura e genesi del suono. Quattro condizioni si richieggono perchè esista e si percepisca il suono. Son le seguenti: 1.ª che il corpo sonoro vibri; 2.ª che la rapidità di sue vibrazioni superi un certo limite; 3.ª che queste durino qualche tempo con velocità costante; 4.ª che il moto si trasmetta per mezzo d'un veicolo sino all'organo dell'udito. Dimostriamole a parte.

1. Nel corpo sonoro il suono non è altra cosa che un moto di vibrazione: rendesi evidente dalle seguenti esperienze. Una corda tesa dà suono se vien pizzicata, o si passa strisciando sovr'essa un arco; e si vede che oscilla, o si argomenta dall'apparire come rigonfiata nel mezzo;e si sente altresì fremere sotto la mano che la tocca ; ma allora si arresta il moto e cessa il suono. Avviene altrettanto ad una campana percossa con un martellino: oscilla,e dà suono, e mette in moto delle palline che le stan sospese daccanto e la toccano. Si discernono pure ad occhio le vibrazioni delle due branche del *diapason*,nell'atto di dar suono; e se esso à un piede, pel quale poggiasi sur un piano, si vede anche saltellare.

Si tenga fissa orizzontalmente con vite o con morsa una lamina di cristallo o di metallo, e si sparga sovr'essa una polvere qualunque assai minuta: se si cava un suono dalla lamina, la polvere sal-

tellando accenna il movimento, che quella concepisce e le comunica. Così strisciando nn arco lungo l'orlo d'una vasca con acqua o mercnrio si ginnge a farla risuonare; e 'l liquido s'increspa nella superficle, o ne vien lanciato fuori con impeto. E per finirla si osserva altrettanto ln generale, sia qualnnque ll corpo sonoro; oscilla mentre dà suono, e in qnel che il moto si arresta cessa pnre il snono.

2. La seconda condizione richiesta alla genesi del snono è che le molecole del corpo sonoro abbiano velocità maggiore d' un grado determinato: se questa non eccede tal valore minimo, le oscillazioni sono senza effetto snll' organo dell' udito. Valga ad esempio una corda: se è poco tesa e facciasi oscillare, si vedrà dondolare a dritta e sinistra della posizione di equilibrio, potrà seguirsi coll'occhio nelle sue varie posizioni, ma non darà suono; allorchè poi si tende di più per gradi oscillerà con rapidità sempre crescente, e finalmente genera suono. Da quel momento non se ne avverte più il passaggio da una posizione all'altra, ma apparisce come cresciuta di amplezza e rigonfiata; del quale fenomeno la cagione è riposta nell'essere non già istantanee ma durevoli un qnalche tempo le impressionl sulla retina; e però se la oscillazione della corda si compie in tempo minore della durata della impressione, l'occhio la vede insieme in tutte le poslzionl, ch'essa prende successivamente.

Dicasi il medesimo d'una lamina, di cui una estremità libera oscilli intorno all'altra; allorchè è molto lunga, si avvertono i cambiamenti snccessivi di posizione, ma non dà suono insino a tanto che non se ne diminnisca la porzione vibrante, e questa si muova con tale velocità da più non apparire in forma di lamina, ma di cuneo con la testa ricnrva verso la estremità libera.

3. Fa d'nopo inoltre che le vibrazioni dnrino costanti un qualche tempo con la medesima velocità. Se ciò non accade, potrà bene aversi sensazione d'un colpo, d'nn fragore, d'uno strepito, come allorchè si percnote un legno o nna pietra, non mai d'nn suono, del qnale si riesca a determinare ll valore.

La costanza però delle vibrazionl pnò derivare da una doppia cagione. La prima si è la elasticità, per cui un moto accelerato delle molecole ne prodnce un secondo ritardato, le qnali poi riconducendosi alle primiere condizioni rendono duraturo il movimento; e ciò si avvera in tntt'i corpi sonori.

Ma ve n'à pure una seconda. Quando la mancanza di elasticità

farebbe presto cessare le oscillazioni molecolari, esse possono divenire durevoli perchè si rinnovellano le azioni della forza che le produsse; e se ciò accade con sufficiente rapidità, si à pure un suono. Questo nuovo metodo è dovuto a Savart, il cui nome è inseparabile dalla più parte delle scoverte moderne di acustica. Egli adoperò a tal fine un sistema di ruote dentate e di rocchetti, mercè il quale si può far rivolgere una ultima ruota colla velocità che piace. Su i denti di questa poggia ad esempio una strisciolina di carta, la quale urtata successivamente oscilla passando da un dente a quello che segue. Or se la ruota gira con lentezza, si sentono separatamente distinti i singoli urti; ma quando la velocità della ruota raggiunge tale infimo limite, da produrre in un secondo tanti urti quante oscillazioni dovrebbe compiere un corpo elastico per cominciare a risuonare, tutti gli urti si fondono, e si à un suono, del quale è possibile assegnare il valore fisico.

4. Finalmente perchè le vibrazioni del corpo sonoro eccitino nell'udito la sensazione del suono, fa d'uopo che sieno trasferite sin colà: v'è dunque bisogno d'un mezzo atto a trasmetterle. L'ordinario veicolo del suono è l'aria, la quale circondando e avvolgendo i corpi sonori partecipa alle loro vibrazioni, e le comunica all'orecchio. Ne dimostra la necessità l'esperimento della *soneria nel vuoto*. La quale consiste in un sistema d'orologeria movente un martellino che percuote una campana; dopo averlo caricato si collochi sul piatto della macchina pneumatica sotto una campana terminata in alto da una verga, che sporge all'esterno attraverso una scattola con entrovi rotelle di cuoio ben compresse; e però girando di fuori la verga si à l'agio di fare scattare la molla dello scampanio senza che penetri aria. Se si è avuto cura di fare il miglior vuoto possibile, e poi si dà moto al martellino, questo percuoterà la campana, ma non si avrà percezione di suono.

Non l'aria sola, ma anche gli altri aeriformi, i liquidi, i solidi, trasmettono il suono. Infatti se nella campana or ora descritta, estrattane l'aria, s'introduca un gas qualunque, si ascolterà pure il suono. Avviene il medesimo se vi si fan cadere delle stille di liquido, le quali nel vuoto di presente si cangiano in vapore.

Che attraverso i liquidi si propaghi il suono vien dimostrato da ciò, che chi è sott'acqua ascolta un suono cagionato alla superficie di quella, o in direzione perpendicolare, o anche obbliqua a certa distanza come sulla riva. Similmente stando fuori acqua o tuffato in

essa si sente l'urto di due corpi immersi: così Franklin ci assicura di avere udito sott'acqua il rumore di due sassi spinti in quella uno contro l'altro alla distanza di mezzo miglio.

Trasmettono il suono anche i solidi. E per fermo nel forare da due opposte bande un monte i lavorieri sentono a vicenda gli uni i colpi degli altri attraverso la roccia. Applicando di notte l'orecchio al suolo si avverte a grande distanza non solo lo scalpitar de'cavalli, ma un rumore assai più debole. Aggiustata all'udito una estremità di lunga asta di legno, si ode il leggerissimo strisciare all'altro estremo di corpo assai dilicato, come di una barba di penna. Di tale conducibilità de'solidi recherem tra breve argomento assai più convincente (179). Per ora ci basti avvertire che a siffatta cagione va attribuito l'ascoltarsi pure talvolta un debole suono dallo scampanio nel vuoto: questo si propaga per mezzo de' metalli e di altre parti solide ed elastiche della macchina; e però ad aversi un completo riuscimento fa mestieri si adagi la soneria su corpi affatto privi di elasticità e inetti a trasmettere le vibrazioni, come bambagia, pannilana e simili.

177. Caratteri del suono. Esistono in tutt'i suoni tre speciali caratteri, pe'quali si distinguono l'uno dall'altro, e sono la *intensità*, l'*acutezza*, la *tempra*.

1.° *Intensità.* Il suono può essere più o meno *intenso*, cioè più forte o più debole secondo che le vibrazioni del corpo sonoro sono più o meno ampie. A persuadersi che la intensità dipende dall'ampiezza delle vibrazioni basterà percuotere una campana più o men validamente, o pizzicando una corda allontanarla più o meno dalla posizione d'equilibrio. Il calcolo dimostra che la intensità è proporzionale al quadrato dell'ampiezza delle oscillazioni.

2.° *Acutezza.* È relativamente *grave* o *acuto* un suono, e più o meno secondo che il corpo sonoro compie nel medesimo tempo un minore o maggior numero di vibrazioni. Infatti tutte quelle cagioni che ne producono più rapido il moto molecolare rendono il suono più acuto.

3.° *Tempra.* Finalmente conviene ammettere nel suono, oltre la intensità e l'acutezza, anche delle altre modificazioni poco note e innominate, il cui complesso costituisce ciò che da' francesi vien chiamato *timbre*, e noi possiam dire *metallo* o *tempra*. Per esse un suono distinguesi da un altro, comecchè sieno entrambi della medesima intensità ed acutezza; ad esempio quelli di due strumenti

come dell' arpa e del piano, le voci di due animali di specie diversa o anche di due individui della stessa specie. Non sono di accordo i fisici nello stabilire la cagione della tempra del suono. Secondo alcuni essa dipenderebbe in parte dalla natura de' suoni secondarî che accompagnano il suono principale, e sovente pure dalle vibrazioni degli altri corpi che sono a contatto del corpo sonoro. Ma secondo altri la differenza è riposta nel vario ordine, con che si succedono le velocità e i cambiamenti di densità negli strati di aria, che sono compresi tra le due estremità dell'onda sonora.

PROPAGAZIONE DEL SUONO.

178. **Genesi delle onde sonore.** Le vibrazioni de' corpi comunicandosi all'aria danno origine alle *onde sonore*. Per intendere la maniera di loro genesi e propagazione, consideriamo dapprima come avvengano in un tubo cilindrico indefinito contenente aria a temperatura costante. Sia in esso un piano mobile, uno stantuffo, che si spinga innanzi d'una quantità infinitesima in un tempo infinitamente piccolo. Il suo moto in un attimo non potrà comunicarsi a tutta la massa d'aria, poichè questa è compressibile, ma solo ad uno strato di grossezza infinitesima, il quale poi alla sua volta il trasmette allo strato seguente di grossezza uguale, e così di seguito; ciascuno strato dopo la compressione sofferta dilatandosi ritorna alla pristina densità e all' equilibrio. Questa trasmissione di movimento è analoga all'urto propagantesi per una serie di palle di avorio che si toccano (117); e s'intende bene accadere il tutto allo stesso modo, che se un medesimo strato mentre comprimesi e poi si dilata venisse pure trasportato in distanza con moto parallelo. Di quì s' inferisce che ritornando lo stantuffo alla primitiva posizione, cagionerà una dilatazione nello strato d'aria a contatto, la quale si comunicherà per ordine agli strati seguenti in quel modo stesso che si erano propagate le condensazioni. Laonde ogni spostamento dello stantuffo cagionerà un' onda elementare condensata, ed ogni ritorno un' onda elementare rarefatta.

Sieno ora finite la lunghezza della corsa dello stantuffo e la sua durata, comunque sempre abbastanza piccole; e dividiamo così l'una che l'altra in frazioni infinitesime. Allorchè lo stantuffo nel

partire dalla quiete percorre il primo strato infinitesimo, darà origine ad un'onda elementare condensata: nel secondo istante percorrendo lo strato infinitesimo seguente ne cagiona una seconda, la quale si propaga nell'aria in continuazione della prima; e così ugualmente, finchè lo stantuffo sarà giunto al termine della sua corsa, avrà prodotto nell'aria una serie di onde elementari condensate le une dietro le altre con lo stesso ordine e con la stessa velocità. Ritornando lo stantuffo al punto di partenza genererà una serie di onde elementari rarefatte, le quali cammineranno in seguito delle onde elementari condensate.

Dalle cose discorse riesce agevole inferire come avvenga la produzione delle onde intorno a'corpi sonori. Ogni molecola vibrante cagiona una serie di onde elementari lineari; e se si consideri un gruppo di molecole vibranti per ogni verso intorno a un centro, si genereranno delle onde sferiche concentriche aventi a centro comune il centro di oscillazione. Queste saran pure costituite di due metà, l'una condensata, l'altra rarefatta; e in ciò solo differiscono dalle onde prodotte in un cilindro, che sono esse racchiuse tra due superficie sferiche concentriche, di tanto maggiore ampiezza, quanto più si allontanano dal centro. Una sola molecola vibrante a modo di pendolo semplice genera onde lineari, cioè secondo una sola dimensione: un sassolino sull'acqua tranquilla produce delle onde secondo due dimensioni, prescindendo dalla oscillazione nella direzione della gravità: uno scoppio nell'aria vi cagiona delle onde secondo tre dimensioni.

Da ultimo se sono molti i centri di oscillazione, come sempre accade ne' corpi sonori, intorno a ciascuno di essi si produrrà un distinto sistema di onde. Questi sistemi s'incontrano, si sovrappongono e si tagliano sotto angoli differenti, ma costantemente tanto più piccoli, quanto più si scostano dai loro centri. Cosicchè se le vibrazioni delle molecole sonore si compiono nel medesimo tempo, le onde che ne vengono prodotte finiranno col confondersi a conveniente distanza da' centri rispettivi; nel caso contrario i singoli movimenti delle onde elementari non essendo sincroni nè similmente diretti, potranno del pari sommarsi o perchè opposti sottrarsi, e la intensità delle onde non sarà la medesima secondo le distanze in tutte le direzioni.

Densità e velocità delle onde elementari. In quanto al determinare la serie delle densità, e de'gradi di velocità, da cui sono animate le

onde elementari costituenti le onde condensate e le onde rarefatte, basterà por mente alle seguenti osservazioni.

1.° Non pure le velocità delle onde elementari, ma ben anche le condensazioni e le rarefazioni debbono corrispondere con esattezza ai gradi di velocità della molecola sonora vibrante.

2.° La molecola vibrante al pari di un pendolo à velocità variabile: massima nel mezzo della sua corsa, decrescente per gradi dal mezzo agli estremi, dov'è nulla.

3.° Le due metà d'una vibrazione ànno direzione contraria, e però anche velocità di contrario segno.

E per conseguente le onde condensate e le onde rarefatte si compongono di onde elementari, le quali ànno un massimo di velocità, e pure di condensazione o di rarefazione, se corrispondono al punto medio della escursione della molecola vibrante: un minimo, se corrispondono al termine della escursione; e le due onde condensata e rarefatta ànno ne'loro elementi velocità, e condensazioni o rarefazioni eguali ad egual distanza da' loro punti medi, ma di contrario segno. Per le quali cose le condensazioni e rarefazioni, non che le velocità delle onde potrebbero esprimersi graficamente mercè le ordinate di una curva, che volgesse la concavità all'asse delle ascisse, e fosse composta di rami uguali e simmetrici intorno a quello, l'uno superiormente, l'altro inferiormente, con un punto d'inflessione tra entrambi.

179. **Velocità della propagazione del suono.** Esaminiamola negli aeriformi, ne'liquidi, e ne'solidi.

Leggi della velocità del suono nell' aria. In vari tempi e luoghi furono eseguiti esperimenti per determinare la velocità, colla quale il suono si propaga nell'aria. Primi si occuparono di questo argomento nel 1660 gli accademici del Cimento in Italia, e poi, a tacere di ben quindici altre ricerche somiglianti eseguite in Europa e in America, nel 1733 in Francia dall'Accademia delle scienze, e meglio nel 1822 dall'Ufficio delle longitudini fu risoluto pienamente il problema. Il metodo adoperato fu il seguente: si cagionava uno scoppio con arma da fuoco a distanza conosciuta dal sito dell' osservazione: il momento in cui appariva la luce che lo accompagna fu assunto per l'istante fisico dello scoppio, poichè la propagazione della luce è cotanto rapida da potersi ritenere come istantanea per tutte le distanze tra le quali ci è dato sperimentare. Adunque il numero di secondi trascorsi tra il balenar di quella e

la percezione del suono sarà stato impiegato da questo in percorrere la distanza tra le due stazioni; e però dividendo questa distanza per quel numero, il quoziente darà lo spazio percorso dal suono in un secondo.

Le stazioni trascelte nel 1822 furono Villejuif e Montlhery presso Parigi: De Prony, Arago e Mathieu si collocarono nella prima, Humboldt, Gaylussac e Bouvard nella seconda, provveduti ciascuno di cronometri esattamente regolati. Ogni cinque minuti alternamente or dall'una or dall'altra si tirava un colpo di cannone da sei libbre; e si ebbe in mente di scovrire mercè questi colpi incrociati o reciproci quale fosse la influenza del vento sulla velocità del suono. o meglio se, non ostante i tanti cangiamenti che può subire l'atmosfera, il suono impiegasse pure lo stesso tempo nel percorrere uno spazio in opposte direzioni. Arago misurò la distanza tra Villejuif e Montlhery, e la ebbe uguale a tese 9549,6. Or la differenza media di tempo tra l'apparir della luce e l'udirsi il suono fu 54″, 6; dividendo dunque 9549,6 per 54,6, si à che il suono in un 1″ percorse tese 174,9 ossia metri 340,88. Il termometro segnava 16 centigradi: il barometro a Villejuif 756^{mm}, e l' igrometro di Saussure 78°. Da tutte le ricerche si raccolsero le seguenti leggi:

1.ª *Il moto del suono è uniforme*, poichè essendo gli spazi proporzionali ai tempi la velocità è costante.

2.ª *La velocità è indipendente dallo stato nuvoloso o sereno del cielo, e anche dall'altezza barometrica.* Difatti si ebbe il medesimo risultamento a Parigi ed a Quito, sotto pressioni differentissime, cioè 0, 76 e 0,697.

3.ª *La velocità è pure indipendente dall'acutezza, intensità, e tempra del suono*; ossia i suoni più o meno acuti, più o meno intensi, e di qualunque corpo sonoro si propagano con la medesima velocità. Del quale fatto siamo pure assicurati dalla esperienza di ogni dì, stante che l'armonia di una orchestra rimane inalterata sia che venga udita dappresso o da lungi; la quale cosa non avverrebbe se alcuni tra'suoni si propagassero più veloci, altri più lenti.

4.ª *Diminuisce coll'abbassamento di temperatura.* Infatti a 16° è 340,88, mentre sarà 337,2 a 10°, e 332,69 a 0° (*).

(*) Newton rappresentò la velocità del suono nell'aria colla formola

$$v = \sqrt{\frac{ga}{d}}$$

rappresentando g la gravità, a l'altezza barometrica, d la densità dell'aria. Tutte le conseguenze che da questa formola si deducono son d' accordo

Velocità del suono nei liquidi. Solo nell'acqua potea determinarsi con esperienza diretta la velocità del suono, e l'eseguirono prima Beudant presso Marsiglia nel 1816, e poi Colladon nella maggiore larghezza del lago di Ginevra tra le due piccole città Rolle e Thonon il 1826. Quest'ultimo legata una campana ad un battello alla

con l' esperienza, e con le leggi riferite di sopra. Infatti per uno stesso luogo e nelle medesime circostanze essendo costanti g, a e d, lo sarà pure la velocità: inoltre cangiandosi del pari a e d, il loro quoziente rimane invariato; e finalmente v non è funzione nè del numero nè dell'ampiezza delle vibrazioni. Se non che sostituendo nella formola per g a e d i loro valori, si à un risultamento di quasi 0,2 inferiore a quello ottenuto coll' esperienza. De la Place è pervenuto ad assegnare la cagione di questa differenza. Egli osserva che le compressioni successive degli strati aerei nell'atto della propagazione del suono svolgono calore, al quale è dovuto quell' eccesso di velocità del valore reale su quello dato dalla teoria. Che poi si abbia di fatto un innalzamento di temperatura, comecchè i termometri non l' indichino, vien dimostrato dalla esperienza seguente di Biot. Questi vuotato d'aria un recipiente e poi versatovi un liquido che di presente si convertì in vapore, osservò che anche quando la capacità di quello era satura si sentiva bene di fuori un campanello che dentro vi facea risuonare, e non avveniva punto formazione di rugiada: il che non può intendersi senza un innalzamento di temperatura che avesse impedito la precipitazione del vapore, e ne avesse aumentata la elasticità. Adunque la Place corresse la formola di Newton con moltiplicare la quantità affetta dal segno radicale pel coefficiente $k=1,41$, il quale esprime la relazione tra le due capacità termiche dell'aria a pressione o a volume costante: ed allora la velocità teoretica uguaglia la reale.

La stessa formola così corretta $v = \sqrt{\frac{ga}{d}k}$

può dare la velocità del suono negli altri aeriformi non atti ad essere sottoposti a sperienze dirette, sostituendo per d la loro densità rispettiva, e per k la relazione delle due capacità termiche spettanti a ciascuno d'essi. Ecco un saggio delle velocità del suono attraverso alcuni aeriformi alla temperatura 0°, ottenute però con un metodo assai più spedito che appresso indicheremo :

	metri percorsi in 1''
Acido carbonico.	261,6
Protossido d'azoto	261,9
Ossigeno	317,17
Ossido di carbonio	337,4
Idrogeno	1269,5

profondità d'un metro sott'acqua, le fissò daccanto un vette ad angolo, di cui una estremità percuoteva la campana come martello, l'altra fuori acqua accendeva mediante un razzo a lancia una massa di polvere da sparo così, che nel medesimo istante veniva generato il suono e dato il segnale. Egli alla distanza di 13487 metri non potea vedere al certo la fiamma, poichè la curvatura della superficie del globo impediva la vista degli oggetti siti ad altezza minore di 9 metri ; ma ne avvertiva bene il baleno. Ad ascoltare poi dalla seconda stazione il suono propagantesi per acqua mal riuscì tuffando la testa in quella ; d' altronde ei si era assicurato che il suono della campana si sentiva bene da un orecchio fuori acqua perpendicolarmente, o se obbliquamente a piccola distanza dal corpo sonoro, e non più a distanza considerevole ; poichè le onde sonore incontrando la superficie dell'acqua con molta obbliquità ne sono riflesse in essa e non si comunicano all'aria. Imaginò dunque immergere verticalmente nel liquido e in direzione perpendicolare alla propagazione del suono una lastra di ferro , che chiudeva l' apertura laterale d' un tubo della medesima sostanza lungo 5 metri: questo ripiegandosi in alto emergeva con l'altra estremità, e finiva in sezione molto obbliqua al suo asse, alla quale si applicava l'orecchio. Le onde sonore liquide percotendo normalmente quel piano si trasmettevano all'aria del tubo, e quindi all' udito.

Ciò posto, dall' istante del segnale il suono tardava in quantità media 9,"4 per giungere all'orecchio; laonde dividendo 13487 per 9,4 si trova che lo spazio percorso dal suono in 1" fu di 1435 metri. La temperatura dell' acqua del lago era poco men che uniformemente per tutto 8°, 1 C. (*).

(*) Da la Place è espresso con la seguente formola la velocità di propagazione del suono attraverso i liquidi

$$v=\sqrt{\frac{g}{l}},$$

essendo g la gravità, l la compressione d'una colonna liquida lunga un metro, per l'azione d'una forza uguale al peso della medesima colonna. Adunque in virtù d'essa si deduce dalla compressibilità dei varî liquidi (124) la velocità con che il suono li percorre. Vediamne un'applicazione per l'acqua. Una colonna d'acqua lunga un metro sotto la pressione d' un' atmosfera si comprime di 47,85 milionesimi; e poichè il peso d'un'atmosfera uguaglia il peso d'una colonna d'acqua alta metri 10,2934, l'accorciamento d'una colon-

Velocità del suono ne' solidi. Anche più difficili e più scarse sono le esperienze per definire la velocità del suono attraverso i solidi. Possiam dire in generale, molto più rapidamente propagarsi il suono per essi che per un mezzo liquido o aeriforme. Biot istituì delle ricerche di questa natura sopra un sistema di 376 tubi di ghisa formanti in tutto una lunghezza di metri 951,26: il suono venia prodotto percotendo una campana ad un estremo di quelli, e l'orecchio dall'altra estremità sentiva due suoni distinti, l'uno dopo più breve tempo propagatosi per la materia de' tubi, l'altro più tardi per l'aria: la durata pe' tubi era 0,″26, quella per l'aria corretta secondo le esperienze dell' accademia di Parigi, 2″,796; la relazione de'due tempi è $\frac{2,796}{0,26}$; cioè per la ghisa il suono è più veloce circa 10, 5 volte che per l' aria (*).

na d' acqua lunga un metro dovuto a pressione uguale al suo peso sarà

$$\frac{0,00004785}{10,2934} = 0,^{m}0000046486;$$

quale valore di l sostituito nella formola di la Place darà 1453 metri per lo spazio percorso dal suono in 1″ nell'acqua alla temperatura 10°, che differisce ben poco dal numero ottenuto coll'esperienza. Somigliantemente si ottengono le velocità del suono in altri liquidi, rappresentandole col numero di metri percorsi dal suono in 1″ alla temperatura 10°.

liquidi	*densità*	*velocità*
Etere solforico	0,712	1039
Alcole	0,795	1157
Etere cloridrico	0,874	1171
Essenza di terebintina	0,870	1276
Mercurio	13,544	1484
Acido azotico	1,403	1535
Acqua satura di ammoniaca	0,9	1842

Si osservi non esservi relazione di sorta tra la densità del mezzo e la velocità del suono.

(*) Si applica puranco ai solidi la formola di la Place esprimente la velocità del suono pe'liquidi $v = \sqrt{\frac{g}{l}}$; ed allora l rappresenta l'accorciamento o l'allungamento di una verga solida di lunghezza uguale alla unità per una pressione o trazione che pareggi il suo proprio peso. Mediante questa formola fu determinata la velocità di propagazione del suono in parecchi solidi. Della medesima ricerca si occuparono puranco Cladni e Savart, deducendo però le velocità dai differenti suoni che si ottengono facendo vibra-

180. Variazioni d'intensità nella propagazione del suono. La intensità del suono, è soggetta a variazioni dipendenti da parecchie circostanze: dalla distanza del corpo sonoro, dalla densità e natura del mezzo che lo trasmette, dall' agitazione dell'aria, dal propagarsi di notte o di giorno.

1.° *La intensità del suono varia nella ragione inversa del quadrato della distanza tra l'orecchio e'l corpo sonoro.* Per fermo se si produce una serie di scoppi, le cui intensità vengano espresse da 1, 4, 9,...,bruciando ad esempio delle masse di polvere che sieno tra loro in quella ragione, tutti essi si sentiranno con la medesima forza a distanze uguali ad 1, 2, 3,... Nè può avvenire altrimenti, stante che nel propagarsi tutt'intorno le vibrazioni dal centro sonoro, si comunicheranno a tanto maggior numero di molecole a quanto maggiore distanza pervengono; e però tanto minor movimento queste acquisteranno, quanto più cresce la superficie della sfera sonora di cui è raggio la distanza. Or l'ampiezza della superficie sferica è nella ragione del quadrato del raggio, la intensità dunque del suono diminuisce nella ragione del quadrato della distanza.

2.° *Il suono è nella ragione diretta della densità del mezzo che lo trasmette.* Nella esperienza dello scampanio tanto più il suono si affievolisce quanto men densa diventa l'aria. Accade il medesimo, qualunque gas introducesi nella campana, e poi se ne estrae per gradi. Questa legge vale egualmente allorchè ad un gas se ne sostituisce un altro men denso sotto la stessa pressione: così la intensità del suono nell'idrogeno è molto minore che nell'aria o nel-

re corpi ridotti a verghe d' una stessa dimensione ; eccone i risultamenti, presa per unità la velocità del suono nell'aria.

Osso di balena	6 2/3	Legno di acaiù	
Stagno	7 1/2	— ebano	
Argento	9	— carpino	. . . . 14 1/2
Legno di noce		— olmo	
— tasso		— ontano	
— quercia	10 2/3	— betulla	
— prugno		— tiglio	 15
Ottone		— ciriegio	
Canne di pipe	10 a 12	— salcio	 16
Rame	12	— pino	
Legno di pero		Vetro	. . . . 16 2/3
— faggio rosso . . .	12 a 13	Ferro e acciaio	
— acero		Legno di abete	da 16 1/2 a 18.

l'acido carbonico. Sulle alte montagne, dove l'aria è men densa, più debole è il suono, come sperimentò Saussure in cima al monte Bianco; e Gay-Lussac nel suo volo aeronautico avvertì stranamente affievolita la sua voce all'altezza di 7000 metri.

Quante volte il suono traversa strati di aria di densità non costante, la sua intensità è quale sarebbe ad uguale distanza come se l'atmosfera fosse omogenea, e rimanesse la densità uniforme a quella del punto di partenza. Della quale legge è evidente la cagione: poichè quando il suono da un'aria più densa passa in uno strato più raro, l'ampiezza delle vibrazioni dovrebbe da una parte diventare maggiore perchè si comunicano a minore massa, e dall'altra dovrebbe diminuire per essere l'aria men densa: donde accade che la intensità rimane costante; ugualmente ragionisi pel caso opposto. Con ciò si spiega perchè dall'alto d'una montagna ben si ode un suono prodotto in una valle, e per converso debole o nullo perviene sulla terra quello che trae origine dalle alte regioni dell' atmosfera.

Ne'solidi e ne'liquidi la intensità del suono come la velocità di propagazione è maggiore che negli aeriformi; e ciò corrispondentemente alla loro maggiore densità. Perolle immergeva ne'vari liquidi un orologio sospeso ad un filo, e misurava la distanza a cui si avvertivano i battimenti: era per tutti maggiore che quando il pendolo batteva nell'aria. In quanto alle sostanze solide, le riduceva a cilindri delle stesse dimensioni, e di ciascuna successivamente messa una estremità a contatto d'un oriuolo, ne applicava l'altra a qualche parte solida del capo, avendo turate le orecchie: in questo caso il suono era più intenso che quando non turate le orecchie il corpo sonoro era nell'aria anche a distanza molto minore.

3.° *La intensità del suono è dipendente dalla direzione del vento.* Infatti consegue dalle esperienze di De la Roche; che 1. il suono si ascolta meglio nella direzione del vento che nella opposta, e la differenza cresce con la distanza: 2. la legge di decrescimento è men rapida nella direzione del vento che nella contraria : 3. è pure men rapida perpendicolarmente alla propagazione del vento che nella sua medesima direzione. Se si considera che gli uragani più violenti ànno velocità minore di 45 metri al secondo, e che questo è ben poca cosa rispetto alla velocità del suono, non parrà probabile che quegli effetti debbano in tutto attribuirsi al trasporto delle onde sonore operato dal vento; e si giudicherà invece che deb-

ba avere gran parte in modificare la intensità del suono il cangiamento di densità degli strati aerei in moto.

4. *È maggiore la intensità del suono di notte che di giorno.* Da tempo remotissimo è noto questo fatto, il quale parzialmente vien prodotto dai molteplici rumori e permanenti che accompagnano la vita e l'attività diurna. Purtuttavolta poichè de Humbolt osservò pure questa differenza ne'folti boschi dell' Orenoco , dove regna profondo silenzio il dì, e sono invece fragorose le notti pel ronzio di miriadi d'insetti, conviene cercare altra cagione del fatto e più generale. Questa è riposta nelle riflessioni e rifrazioni che soffre il suono durante il giorno pel riscaldamento del suolo, donde correnti ascendenti e discendenti e variazione di densità negli strati aerei. La quale spiegazione viene avvalorata dall'essere minore quella differenza tra il dì e la notte sugli alti piani che nelle pianure, minore pure ne' vasti mari che nei continenti , poichè negli alti piani e ne'mari sono ben tenui le variazioni diurne di temperatura.

181. **Riflessione del suono.** Finchè la densità del mezzo è uniforme, le onde sonore si spandono ugualmente intorno al centro di vibrazione. Diconsi *raggi sonori* le rette che partendo da quel centro dividono simmetricamente le onde, e però secondo esse van distribuite per ordine le fasi di densità, che rispondono alle velocità delle molecole vibranti. Non è così se il mezzo è diviso a falde d'ineguale densità: le onde sonore incontrando la superficie di separazione di due falde, o un qualsivoglia ostacolo, ne sono retrospinte regolarmente, vengono *riflesse*, ossia tornano indietro come se partissero da un centro di vibrazione collocato di là dall'ostacolo. Le leggi della riflessione del suono sono le medesime che de'corpi elastici (32), e della luce e del calore.

Dalla riflessione del suono nascono l'*eco* e la *risuonanza*.

Eco. Se le onde sonore riflesse producono nell'udito sensazione distinta da quella delle onde dirette, si à l'*eco* (*). Riesce agevole determinare la condizione necessaria alla genesi dell'eco. L'esperienza dimostra che l'orecchio non può distinguere che dieci suoni in 1'', cioè non percepisce distinti due suoni successivi, i quali sieno separati da un intervallo di tempo minore che un decimo di secondo. Laonde, poichè il suono a 16° percorre 340 metri in 1'', ne consegue che un osservatore, il quale proferisce un suono con-

(*) Dalla voce ἠχώ *suono.*

tro un ostacolo, debba distare da esso almeno metri 17 per averne l'eco. Quest'eco dicesi *monosillabo*. Che se la distanza dall'ostacolo è maggiore, anche maggior tempo impiegherà l'onda sonora in percorrerla due volte, nell'andata cioè e nel ritorno, e sarà possibile profferir più sillabe prima che torni all'orecchio il suono ripetuto della prima; d'onde l'eco *polisillabo*.

L'eco dicesi *semplice* quando, perchè uno è l'ostacolo, il suono è ripetuto una volta sola; ma se l'osservatore trovisi fra due ostacoli, ad esempio tra due muri paralleli convenevolmente discosti, o tra due montagne, le onde sonore ripercosse incontrando replicatamente l'orecchio, produrranno l'eco *molteplice*; ma i suoni successivi andran perdendo d'intensità nella medesima ragione che se le onde percorressero lo stesso spazio in una sola direzione (*).

Risonanza. Quante volte l'ostacolo riflettente è a distanza minore di metri 17 necessaria all'eco, le onde riflesse si uniscono alle dirette e vengono all'orecchio mentre ancora persiste la impressione di queste: allora non producono un secondo suono distinto, ma solo prolungano la durata del primo, o ne aumentano la intensità, lo rinforzano, ossia cagionano una *risuonanza*; il che accade pure comunque le sole onde riflesse convengano nel medesimo punto. Di quì si comprende la cagione della maggiore intensità che acquista la voce umana in una stanza vuota o in una caverna, e di quel fragore che sentesi appressando all'orecchio un corpo cavo come sarebbe una grande conchiglia.

Se la volta di una sala *aba'* (fig. 152) à forma di ellissoide, tutti i suoni che son prodotti in uno de'fuochi *f* e si propagano secondo i raggi sonori *fi*, *fi'*... son riflessi nell'altro fuoco *f'* secondo *i f'*, *i'f'*... per la proprietà ben nota della ellissi, che i raggi vettori condotti da uno stesso punto della curva ai due fuochi comprendo-

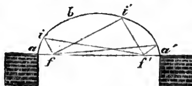


Fig. 152.

(*) Nel parco di Wodstock in Inghilterra v'è un eco che ripete venti sillabe, e nel castello di Simonetta un eco polisillabo che ripete sino a quaranta volte lo stesso suono. Tra noi il più bell'esempio di eco polisillabo è nel corridoio dell'osservatorio di Capodimonte, e di eco molteplice nella grande sala della reale biblioteca. Nel così detto *atrio del cavallo* tra il Vesuvio e la Somma è maraviglioso un eco polisillabo insieme e molteplice.

no angoli uguali con la normale. Laonde due persone collocate ne'fuochi potranno parlare da lungi a voce sì bassa da non esser punto udite da chi si trova frammezzo (*). Weber a renduto sensibile ad occhio questo fenomeno: riempì di mercurio (fig. 153) un vase a sezione orizzontale ellittica, poscia da una certa altezza fè cadere in uno de' fuochi della superficie di livello un filetto sottile dello stesso liquido, ed osservò partire da quel punto un sistema di onde, le quali riflettendosi alla parete del vase andavano poi a concentrarsi nell'altro fuoco.

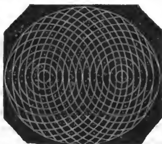


Fig. 153.

Principio della sovrapposizione dei piccoli movimenti. Il fatto ci ammaestra che più suoni nascenti da corpi sonori diversi coesistono insieme senza punto turbarsi scambievolmente: dicasi altrettanto dei suoni riflessi, i quali si accoppiano ai diretti e pervengono uniti all' orecchio o divisi senza alterazione di sorta. È questa una dimostrazione sperimentale del principio, che dicesi in meccanica *della sovrapposizione de' piccoli movimenti*; e vuol dire, che se più sistemi di onde sonore partono da centri diversi, o se per ostacolo che si oppone ritornano sul loro cammino, essi s'incontrano e si tagliano, ma pure si propagano come se ciascuno fosse solo: le stesse molecole del mezzo partecipano alle velocità che per tutti quei sistemi loro convengono, ossia la velocità effettiva di ciascuna molecola è la risultante di tutte le velocità, che possederebbe facendo parte separatamente di tutti quei sistemi, sieno cospiranti o pure opposti. Succede nel presente caso quel medesimo che sulla superficie dell' acqua, se, fatti cadere de'corpicciuoli in varî punti, vi si generano più sistemi di onde contemporanei.

Porta-voce, corno acustico, stetoscopio, dinamoscopio, tubi parlanti. Dalla riflessione delle onde sonore si à pure la spiegazione di parecchi strumenti di un uso comune e importante.

(*) Celebre per questo fatto è la grande sala del Conservatorio di arti e mestieri in Parigi; e qui in Napoli nel regio bosco di Capodimonte v'è una immensa cisterna a volta ellittica, le cui finestre agli estremi di sua maggiore lunghezza rispondono a'fuochi; e si avvera esattamente quel che di sopra fu detto.

1. Il *porta-voce* (fig. 154) adoperato massimamente in mare, serve a trasmettere la voce a grande distanza. Si compone di un tubo di latta o di ottone in forma di cono con un orlo molto più slargato verso la base, che dicesi *padiglione*. Si parla dall'altra estremi-



Fig. 154.

tà; e le onde sonore riflesse dalle pareti convergono, poichè nelle ripetute riflessioni formano con quelle un angolo sempre più piccolo fino a divenire sensibilmente parallele all'asse; quindi uscendo dal porta-voce non divergenti si propagano a distanza.

2. Il *corno acustico* favorisce la percezione del suono ad un orecchio attutito. À forma pure di cono, e si fa di metallo, di caoutchouc o di altra materia elastica: la parte slargata raccoglie le onde, le quali riflesse dalle pareti convergono verso l'asse, e vanno riunite nel condotto uditivo in cui è introdotto il vertice di quello.

3. *Stetoscopio, dinamoscopio* (*). Questi strumenti sono due specie di corni acustici. Il primo è dovuto al genio di Laennec, e consiste in un cilindro cavo di legno o di metallo, lungo 14 a 15 centimetri, slargato alla base, più stretto ne'tre quarti superiori, e finisce in alto con disco di avorio, sul quale poggiasi l'orecchio: si usa nella diagnosi delle malattie massimamente de'visceri toracici o solo o di concerto con l'ascoltazione immediata.

Il *dinamoscopio* di Collongues (**) à molta somiglianza con lo stetoscopio: vale per iscoprire le alterazioni di quel fragore speciale analogo ad un ronzio, che si avverte applicando per esempio un dito nell'orecchio. L'autore assicura appartenere tal ronzio all'individuo esplorato, e non all'orecchio: il vuole indipendente dalla circolazione e dal calore animale, e opina che sia una risultante delle azioni organiche.

4. *Tubi parlanti*. Che la intensità del suono in tubi cilindrici non segua la ragione inversa del quadrato delle distanze, s'intende di leggieri, tra perchè i raggi sonori non sono divergenti, e per-

(*) Da στῆθος petto, δύναμις forza, e σκοπεῖν esplorare.

(**) Accademia di medicina di Francia; seduta del 23 giugno 1857.

chè riflessi dalle pareti convergono verso l'asse. Ne abbiamo in conferma le esperienze di Biot mediante i tubi degli aquedotti di Parigi per una lunghezza di 951 metri: non gli fu possibile parlare ad un estremo di quelli sì basso, che all'altro estremo non si sentisse ogni voce: un colpo poi di pistola scaricata da un lato tanta veemenza imprimeva all'aria de'tubi, e per essi all'aria esterna, che vi cagionava un vento impetuoso capace di lanciare a distanza de'corpiccinoli leggieri, e di spegnervi una candela. Adunque il suono non soffre sensibile diminuzione d'intensità ne'tubi cilindrici, specialmente se diritti; e però furono usati i *tubi parlanti* (*speaking tubes* degl'inglesi) per comunicare di presente degli ordini nei vasti opifici, e in mare ne'grandi vascelli; e fu pure immaginato valersene per mezzo di corrispondenza immediata tra due città.

DEL SUONO CONSIDERATO NEL CORPO SONORO, O TEORIA DELLE VIBRAZIONI

182. **Vibrazioni delle corde**. Per conoscere come conviene la natura del suono fa d'uopo studiarlo primamente ne'corpi sonori, il che vuol dire comprendere le leggi di loro vibrazioni. Ci basti per ora esaminare le vibrazioni de'corpi solidi: de'fluidi aeriformi vibranti diremo poi, e qualche cenno puranco de'liquidi.

I solidi in quanto alla loro forma van distribuiti così: o due dimensioni sono piccolissime relativamente alla terza, e si ànno le corde; o una dimensione è molto piccola riguardo alle altre due, e tali sono le lamine; o finalmente ànno forma e dimensione qualunque. Ragioniamo delle corde e delle lamine; donde sarà agevole inferire quel che riguarda i corpi di ogni forma.

Vibrazioni trasversali e longitudinali. Una corda vibra in due modi: o in direzione perpendicolare alla sua lunghezza, e allora le vibrazioni diconsi *trasversali*; o parallelamente e le vibrazioni si chiamano *longitudinali*. Perchè una corda vibri trasversalmente basta rimuoverla dalla posizione d'equilibrio pizzicandola o passando sovr'essa per traverso un arco di violino: si ànno invece le vibrazioni longitudinali o strisciandole sopra un arco assai obbliquamente, o meglio strofinandola con panno cosperso di fina polvere resinosa, ad esempio di colofonia.

Leggi delle vibrazioni trasversali. Il numero delle vibrazioni trasversali, che compie una corda in dato tempo, è funzione della

lunghezza, del raggio, del peso che la tende, e della densità: le leggi di queste relazioni si contengono ne' seguenti teoremi.

1.° I numeri di vibrazioni fatte da una corda ugualmente tesa sono nella ragione inversa di sua lunghezza.

2.° Le vibrazioni d'una corda di costante lunghezza sono come le radici quadrate dei pesi che la tendono.

3.° I numeri di vibrazioni delle corde d'una stessa natura e lunghezza, ma di vario raggio, sono nella ragione inversa del raggio.

4.° Corde di natura diversa, ma di costante lunghezza e raggio, e ugualmente tese, compiono vibrazioni, il cui numero è nella ragione inversa delle radici quadrate di loro densità.

Adunque una corda fa in dato tempo un numero maggiore di vibrazioni, ossia produce suono più acuto, allorchè se ne diminuisce la lunghezza, il raggio o la densità, o pure cresce il peso che la tende; e per converso compie minor numero di vibrazioni, e quindi genera un suono più grave, al crescere della lunghezza, del raggio, e della densità, o altrimenti stirandola meno. Degli esposti teoremi si può dare una dimostrazione sperimentale saggiando varie corde, delle quali si cambi la lunghezza, la tensione, il raggio,

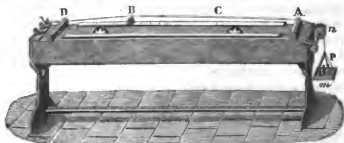


Fig. 155.

la natura e quindi la densità, e numerando le rispettive vibrazioni, finchè non si giunge a quel limite in cui l'occhio non possa più seguire la corda vibrante (*). A tal fine si adopera uno strumento detto *monocordo* o *cordometro*. Può essere orizzontale e verticale: il primo d'essi, quello che è più in uso (fig. 155), consiste in una

(*) Queste leggi sono generali, secondo che si rileva dalla formola

$$n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{gP}{\pi d}}$$

con cui i geometri esprimono il numero n di vibrazioni di una corda in fun-

cassa sonora sorretta da apposito cavalletto; sovr'essa vien collocata e tesa una corda DCA, fermata da un lato ad un pernio, e dall'altro lato finisce con la porzione *nm*, che passa per la gola di una puleggia e sostiene una coppa con i pesi P che la stirano. La lunghezza della corda vibrante vien definita dalla distanza tra'due ponticelli fissi D e A, che terminano in alto con uno spigolo molto acuto. Si scorcia poi la corda come piace per mezzo del ponticello scorrevole B, il quale si fissa dove occorre; la lunghezza della corda riducesi a quella che resta tra il ponticello mobile B e uno de'due estremi D o A. Ad una prima corda si può sostituire o porle accanto una seconda, una terza, affine di paragonare tra loro i numeri di vibrazioni variando le condizioni.

Nodi e ventri di vibrazioni. Allorchè una corda vibra, si divide in parti aliquote cui si dà nome di *concamerazioni*, e oscillano in direzioni opposte tra loro: i punti che separano queste porzioni di corda non prendono parte al loro speciale movimento, sebbene vengano trasportati dalla intera corda, e diconsi *nodi di vibrazione*: si chiamano *ventri* i punti situati nel mezzo di ciascuna porzione di corda, dove cioè è maggiore l'ampiezza della vibrazione. Sono varie le circostanze, in cui avviene la formazione de'nodi e dei ventri. Si usi il cordometro: e per mezzo del ponticello mobile si stacchi dalla corda intera una sua parte aliquota, p. e. la terza, la quarta, la quinta, ma in modo che il ponticello tocchi appena la corda: si avrebbe il medesimo effetto poggiando leggermente un dito in quel punto. Poi se con un arco si determini a vibrare la parte minore della corda, quella che resta dall'altro lato si dividerà anch'essa in parti uguali alla precedente, le quali vibreranno diunita a quella, e tra esse parti avremo de' nodi. Ma in generale quante volte si fa vibrare liberamente una corda di una certa lunghezza, si divide in più ordini di parti submultiple, le quali oscillano insieme: si divide cioè la corda in due parti con un nodo nel mezzo, che corrisponde al ventre di vibrazione della intera corda: si divide pure in tre parti uguali con due nodi a distanze pari a un terzo della corda da'due punti fissi; e così di seguito in quattro parti, e in cinque.

Sauveur per rendere sensibile questa divisione della corda in

zione della lunghezza l, del raggio r, del peso p che la tende, della densità d; essendo g la gravità, π la relazione tra circonferenza e diametro.

parti aliquote distribuì de'pezzetti di carta di vario colore in forma di cavalletti lungh'esso la corda, e poi determinatala a vibrare osservò che i cavalletti rispondenti ai nodi restavano al loro posto, mentre gli altri erano lanciati in distanza. Ma neanco fa bisogno di siffatto artifizio, contro il quale potrebbe opporsi, che forse i nodi si generano in questo caso per la leggiera pressione dovuta al contatto de'cavalletti; e non mai avverrebbero, se la corda fosse libera. Si ponga dunque l'occhio senza più da un lato nel prolungamento della corda; e se questa è lunga abbastanza si vedrà che mentre oscilla si divide e suddivide come fu detto.

Vibrazioni longitudinali delle corde. Se con polvere di colofonia sulle dita o sur un panno si confrica una corda tesa, le molecole spinte con moto alterno ora per un verso ora per l'opposto parallelamente alla sua lunghezza, concepiscono un'altra maniera di vibrazioni, che diconsi *longitudinali*. Gli estremi fissi sono i nodi di vibrazione; e perchè in questa specie di moto le molecole si allontanano da un estremo appressandosi all'altro, e poi si scostano da questo per correre verso il primo, e così di seguito, è chiaro che avviene nelle parti della corda un cangiamento di densità: si addensano le molecole or nell'una or nell'altra metà, e nelle estremità accade la massima variazione di densità. Adunque i nodi posseggono questi due caratteri: velocità zero, e massimo cangiamento di densità. Nel mezzo poi la velocità è massima, quindi un ventre di vibrazione; ma questo punto medio divide la porzione di corda condensata dalla rarefatta; laonde non vi sarà quivi nè condensazione nè rarefazione. E però anche il ventre à due caratteri costanti: massima velocità, e zero cambiamento di densità.

Le vibrazioni longitudinali son rette da leggi affatto diverse dalle trasversali. In queste le molecole si muovono tutte e nello stesso verso dalla posizione di equilibrio, e insieme pure vi ritornano, compiendo oscillazioni, l'ampiezza delle quali serba una uguale ragione alla velocità delle singole molecole. Per converso nelle vibrazioni longitudinali la velocità si trasmette da strato a strato per mezzo di compressioni e di dilatazioni, e però è maggiore la influenza della elasticità: le molecole si oppongono una scambievole resistenza alla durata del moto nel medesimo senso, e più presto si rimettono nella posizione pristina per allontanarsene di nuovo: altrimenti, le vibrazioni longitudinali sono più rapide delle trasversali. Poisson à espresso la relazione tra il numero n di vibra-

zioni longitudinali ed il numero n' di vibrazioni trasversali che fa una corda nelle medesime condizioni con la proporzione:

$$n : n' : : \sqrt{l} : \sqrt{a},$$

designando con l la lunghezza e con a l'allungamento che essa soffre per l'azione d'una forza uguale al peso che la stira; dalla quale proporzione, ponendo mente che l è mai sempre assai maggiore di a, si deduce essere anche n maggiore di n'. Savart à confermato con esperienze il calcolo di Poisson, osservando che una corda la quale vibra longitudinalmente dà in pari circostanze suono più acuto che quando vibra trasversalmente.

In questa specie di vibrazioni, oltre i nodi alle estremità ed un ventre nel mezzo, si formano puranco nodi e ventri intermedi. Il che avviene in due modi. Il primo è determinando un nodo in un sito qualunque della corda o con toccare quel punto o con applicarvi un cavalletto di carta: allora il rimanente della corda concepisce pure altri nodi così, che tutta venga a dividersi in parti uguali vibranti. Si tocchi ad esempio un punto distante una terza parte della corda da un estremo; quivi si formerà un nodo, e la corda residua si dividerà in due parti con un altro nodo nel mezzo. Una seconda maniera d'avere più nodi consiste nel confricare la corda più fortemente, ed essa da se si suddivide in parti aliquote separate da nodi, e rende suono più acuto. Le porzioni contigue vibrano sempre in contrari versi; e la relazione tra le velocità delle parti vibranti e delle loro lunghezze è la stessa che nelle vibrazioni trasversali.

183. **Vibrazione delle verghe e de'tubi.** Le verghe cilindriche o prismatiche di legno di vetro di metallo vibrano come le corde trasversalmente e longitudinalmente. Si eccitano a vibrazioni trasversali fermandole ad un estremo, o ad ambi gli estremi, o in un punto qualunque di loro lunghezza, e passandovi sopra un arco. La legge che regola queste vibrazioni è la seguente: *Per le verghe della stessa natura il numero delle vibrazioni trasversali è nella ragione diretta di loro spessezza e nella inversa del quadrato di loro lunghezza: la larghezza è senza influenza.*

Si ottengono le longitudinali strofinando le verghe nel senso della lunghezza con panno bagnato o cosperso di colofonia. *Il loro numero è nella ragione inversa della lunghezza, ed è indipendente dal diametro e dalla forma della sezione trasversale.*

I tubi cilindrici vibrano anch'essi alla maniera delle verghe con

ambi i generi di vibrazioni, e danno suoni più gravi o più acuti secondo il numero delle parti aliquote, in cui vibrando si suddividono. Ma la distribuzione de' nodi presenta alcuna cosa di singolare. Per iscoprirne la posizione si tenga il tubo orizzontalmente, e introdottolo in una specie di anello di carta di maggior diametro si faccia vibrare strofinandolo : l' anello scorrerà saltellando, e' l punto in cui si arresta darà la posizione di un nodo. Si giri poi d'alquanto il tubo, e ripetuta la medesima esperienza si troverà un secondo nodo; e così di seguito, operando prima verso un estremo, poi verso l' altro, si perviene a determinare la posizione di tutt' i nodi, i quali costituiscono delle curve a elica. Nella superficie interna si formano pure delle linee nodali; e se ne rinviene l'andamento per mezzo d'una pallina di sughero, che oscilla e si ferma poi sul nodo : queste sono ugualmente delle eliche, ma aventi le loro spire dirette altramente dalle linee nodali esteriori. Una forma cotanto singolare di linee nodali è dovuta secondo Savart alle varie maniere di moto che àn luogo in un tubo vibrante. V'è una prima oscillazione nel senso della lunghezza; una seconda trasversale, cosicchè la sezione del tubo che è circolare diventi ellittica scambiandosi alternamente i suoi assi maggiore e minore; e ve n'è pure una terza, cioè una torsione, per la quale oscillano le molecole del tubo a dritta e sinistra intorno al suo asse.

Corista. Le verghe incurvate oscillano come le dritte. Ne dà un esempio il *diapason o corista*, destinato a dare un suono fisso per mettere in accordo gli strumenti d'una orchestra. Esso componesi di due branche di acciaio libere a vibrare da un lato, e riunite dall' altro, dove termina con una picciola coppa che gli fa da sostegno, o con un piede qualunque. Per cavarne suono si usa percuoterlo contro un corpo duro, e poi si poggia sul suo piede. Ma s'incorre a questo modo in duplice inconveniente: il primo è che per l'ordinario una delle branche riceve immediato l'urto, ed il trasmette all'altra, con che il suono è poco intenso; il secondo è più grave, poichè percosso più o men fortemente può dare un suono di acutezza varia. È dunque a preferire che le due branche sieno leggermente l'una all'altra inclinate (fig. 156); e si determinano a vibrare obbligando con forza a passare fra esse un picciol cilindro di legno o di metallo, che abbia diametro alquanto maggiore della minima distanza che le separa : con ciò sono costrette a scostarsi entrambe, e vibrano con la medesima rapidità.

184. Vibrazione delle lamine. Le lamine di legno, di vetro o di metallo possono acquistare una doppia maniera di vibrazioni, o normali o parallele alla loro superficie. Si eccitano le prime passando per l'orlo della lamina e perpendicolare ad essa un arco bene asperso di polvere di colofonia: si ottengono le seconde rendendo l' arco quasi parallelo alla lamina, o strofinandone l'orlo secondo la sua lunghezza con panno o con le dita bagnate. Diventano sensibili le vibrazioni spargendo sulla lamina una minuta polvere: se questa saltella accenna le vibrazioni normali, se alternamente scorre da un lato e dall'altro indica le parallele.


Fig. 156.

Linee nodali. La polvere espulsa dalle molecole vibranti si accumula su i punti che non vibrano, e segna l'andamento delle linee nodali (fig. 157);il quale modo di scoprirle è dovuto a Galilei, ed è stato poi ampiamente studiato da Cladni e da Savart. Se aspergesi una lamina di due polveri,più grossolana l' una, l' altra finissima come quella di licopodio, quest' ultima si accumula nel mezzo delle concamerazioni, dove il moto è maggiore; e Savart opina che si distribuisca secondo linee nodali spettanti ai suoni secondarî che accompagnano il fondamentale.


Fig. 157.

Ogni linea nodale divide la lamina in due concamerazioni danti lo stesso suono e vibranti in senso contrario. La quale seconda condizione è indispensabile affinchè la linea nodale non partecipi al moto di quelle; e si dimostra elegantemente con le due seguenti esperienze.

1ª. Sur una lamina vibrante (fig. 158) si sospenda un disco di cartone, da cui sien tolti alternamente dei settori pari alle concamerazioni di quella. Un orecchio, che v'è sopra, sente suono più

intenso se le porzioni del disco *a*, *a'* trattengono le vibrazioni di una delle concamerazioni contigue, per es. di A, A', e i vani *b*, *b'* lascian passare quelle di B, B'. Se il disco oscilla si proverà affievolito o rinforzato il suono. Adunque le concamerazioni contigue vibrano in senso opposto, nel medesimo le alterne.

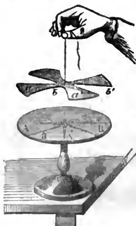


Fig. 158.

2ª. All' estremo superiore di un tubo sia tesa una membrana aspersa di fina polvere, ed esso si biforchi inferiormente così che le due branche possano avvicinarsi o allontanarsi. Se queste sovrappongonsi a due concamerazioni contigue di una lamina vibrante, il moto della polvere scema sulla membrana, e si rinforza se corrispondono a due concamerazioni alterne.

Una medesima lamina può dividersi vibrando in vario numero di parti: quando il suono è più grave la lastra è men divisa ed è minore il numero delle linee nodali, se più acuto cresce la suddivisione e conseguentemente il numero delle linee nodali. Per avere questa

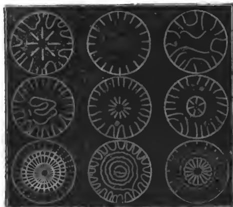


Fig. 159.

maggiore acutezza si può strisciare più fortemente l'arco, o meglio si determina la formazione di più nodi toccando vari punti dell'orlo o della superficie di quella. La fig. 159 esprime alcune forme di

linee nodali che può prendere una lamina circolare, la fig. 160 quelle d'una lamina quadrata.

Si osservi che quando la lamina à la medesima elasticità per o-



Fig. 160.

gni verso, le linee nodali sono simmetriche; nel caso contrario ànno molto dell'irregolare e del capriccioso. Laonde può studiarsi la distribuzione della elasticità in un corpo tagliandone delle lamine in differenti versi, e facendole vibrare asperse di polvere. Anzi di questo artifizio si può anche fare uso per determinare il sistema cristallino di un minerale quando non si possa altrimenti.

Triplice sistema di linee nodali. Possiam ridurre tutte le forme di linee nodali a tre sistemi chiamati *diametrale*, *concentrico* e *composto*. Il *diametrale* vien costituito da diametri o linee diagonali che passano pel centro della lamina, e ne dividono simmetricamente la circonferenza in due parti uguali. Si ottengono p. e. da una lamina quadrata o circolare ugualmente elastica per ogni verso, e fermata nel centro con vite di pressione.

Al sistema *concentrico* appartengono delle linee curve, il cui centro comune è il punto medio della lastra. A produrre tale maniera di linee nodali, si usa una lamina circolare fermata per un punto dell'orlo ed avente un foro nel centro: per questo si confrica l'orlo interiore con fascio di crini (fig. 161).

Il sistema *composto* è costituito di linee diametrali e di circonferenze più o meno incurvate: questo è il sistema dominante, essen-

do ben difficile ottenere de' suoni con linee nodali appartenenti solo al primo o al secondo sistema.

Legge della vibrazione delle lamine. Il numero di vibrazioni delle lamine è retto dalla legge seguente: *allorchè oscillando lamine simili della stessa natura e forma presentano linee nodali simili, i numeri delle vibrazioni sono nella ragione diretta delle loro spessezze, e nella inversa delle superficie.*

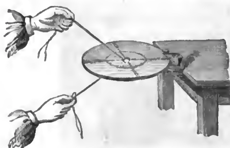


Fig. 161.

Movimento delle linee nodali. Per l'ordinario le linee nodali sono fisse; ma in certe circostanze oscillano a dritta e sinistra della loro posizione di equilibrio. Savart à scoperto che se la lamina è circolare e grande abbastanza, si può rinnovare lo strisciamento dell'arco mentre le linee nodali sono spostate da un lato così, da ridurre cospiranti nel medesimo verso le azioni ripetute fino ad averne una rotazione continua. In questa esperienza è necessario impiegare la polvere di licopodio.

Vibrazione de' corpi di qualunque forma. Riesce agevole applicare le teorie esposte alle vibrazioni de'corpi rigidi di qualsiasi forma. Allorchè un d'essi vibra così da dare un suono sostenuto, si divide secondo le circostanze in un numero maggiore o minore di parti, le quali danno il medesimo suono. Le superficie di separazione di queste parti non vibrano con esse, e sono delle superficie nodali: le loro intersezioni con la superficie esterna costituiscono le linee nodali. Il suono che se ne cava à diversa acutezza, e 'l numero delle linee nodali è vario a norma delle dimensioni. Le quali cose appartengono così a'corpi sonori pieni, come ai cavi. Da quelli che ànno forma conica e sono vuoti, come le campane, si ottengono suoni molto intensi e puri; la loro divisione in parti per mezzo di linee nodali accade con le stesse leggi che per le lastre piane. Basti far menzione a questo proposito dello strumento detto *armonica*, il quale consiste in una serie di vasi di vetro sospesi, e di tali dimensioni relative da produrre per ordine i suoni musicali. Si fan vibrare strofinandone l'orlo con pelle o con le dita bagnate Siffatto

strumento richiede agilità singolare, à un suono sostenuto, e vale soprattutto alla espressione de'sentimenti melanconici.

185. **Comunicazione del movimento vibratorio.** Il moto di vibrazione può passare da un corpo sonoro a un altro in due modi: o per contatto immediato, o per opera d'un *mezzo* che stabilisca relazione tra entrambi allorchè sono in distanza.

1.° In primo luogo si comunica il moto vibratorio per contatto immediato. Abbiasi una vasca con liquido (fig. 162); non appena si fa risuonare strisciandone l'orlo con un arco, e si vedranno spinte fuori con impeto delle gocce liquide, mentre la superficie s'increspa di onde presentando un grazioso complesso di linee nodali. Si avvicini pure ad una corda vibrante una lamina, o ad una lamina che dà suono si appressi una corda: la seconda parteciperà alle vibrazioni della prima. Non occorre dire che il moto vibratorio della lamina si osserva per mezzo della polvere ; quello della corda dal suo rigonfiamento, e dippiù quello di entrambe dal suono che se ne ascolta.



Fig. 162.

2.° Si trasmettono pure le vibrazioni da un corpo sonoro all'altro attraverso un mezzo che entrambi li avvolge. Può essere questo un liquido, ma più comunemente è aeriforme. Così ad una corda tesa che dà suono appressandone a certa distanza delle altre, queste risuoneranno, purchè si avveri la condizione, che sieno capaci per le loro dimensioni di concepire o vibrazioni sincrone a quelle della prima , o tali di numero da serbare la ragione della serie 1, 2, 3, 4, 5. Dicasi altrettanto di qualunque corpo sonoro si accosti nella sfera d' azione di un altro risuonante. Savart tendeva una sottile lamina, come di pergamena , di pelle di battiloro, di carta, e simili, applicandole ad un telaio di legno circolare o poligono; e aspersele di fina polvere le avvicinava ad un corpo sonoro in vibrazione (fig. 163 e 164).

Leggi della trasmissione delle vibrazioni. Son dovute a Savart.

1.ª *Nella comunicazione del movimento vibratorio si serba la di-*

rezione del moto primitivo. Infatti distendasi una corda in posizione verticale : se oscilla longitudinalmente e le si accosta una lamina aspersa di polvere, questa saltellando accenna pure vibrazioni verticali; se la corda vibra trasversalmente, la polvere indica nella lamina vibrazioni tangenziali:

2ª. *La posizione de'nodi e delle linee nodali, e perciò anche i suo-*



Fig. 163.



Fig. 164.

ni restano sovente modificati. Comunque la trasmissione de'movimenti elementari avvenga secondo direzioni parallele, pur questi si compongono co'moti riflessi secondo mille direzioni svariate nell'interno del corpo a cui si comunicano ; e però la direzione e gli altri caratteri della risultante di tutti questi piccoli movimenti possono essere ben diversi da quelli del moto primitivo. La modificazione consiste nel dare o vibrazioni sincrone, o che sieno nella relazione de'numeri 1, 2, 3, 4, 5. Con ciò si spiega quel fatto comune, che due oriuoli poco discordanti nel loro camino si trovano poi di accordo se vengano poggiati sul medesimo sostegno. Savart à sciolto pure la difficoltà , che di per se si presenta , del come possa avvenire che vibrazioni longitudinali tanto più rapide cagionino nella trasmissione vibrazioni trasversali di loro natura più lente. Imperocchè à scoverto che nelle corde ad esempio vibranti longitudinalmente i nodi si allontanano , e per converso si accostano in quelle che vibrano trasversalmente; la quale cosa altrimenti vuol dire, che il moto delle prime diviene quale converrebbe a corde più lunghe, quello delle seconde corrisponde a corde più corte. Ed a questa guisa la scambievole influenza delle parti d'un sistema vibrante le dispone a compiere vibrazioni sincrone o nella ragione or ora indicata.

SCALA MUSICALE E VALORE ASSOLUTO E RELATIVO DE'SUONI

186. *Scala musicale.* I differenti suoni vengono distribuiti in periodi successivi, ciascun de'quali à nome di *gamma* o di *scala musicale.* Ogni periodo è costituito da sette suoni crescenti in acutezza, de'quali l'orecchio è giudice, poichè la loro esistenza sembra un fatto primitivo dipendente dalla organizzazione: ànno i seguenti simboli:

do, re, mi, fa, sol, la, si.

Ad un primo periodo ne succede un secondo, e poi un terzo col medesimo ordine, e così di seguito. Per indicare che una *nota* appartiene al periodo fondamentale e non a qualunque altro de' seguenti più acuti o degli antecedenti più gravi, si contradistinguono questi con un indice positivo o negativo; così do_2 rappresenta il primo suono del secondo gamma più alto, e do_{-2} il primo suono del gamma più basso. Un suono dicesi una *seconda*, una *terza*, una *quarta*, una *quinta* del suono fondamentale o di qualunque altro a norma della sua distanza da quello computando anche i suoni estremi: così del *do* come suono fondamentale il *re* è la *seconda*, il *mi* la *terza*, *sol* la *quinta*,.... do_2 la *ottava*.

187. **Metodi per determinare il numero assoluto di vibrazioni.** Il valore fisico, ossia la natura d' un suono è riposta nel numero di vibrazioni che compie il corpo sonoro in un dato tempo. Indicheremo quattro metodi per iscoprire questo numero, sebbene l' occhio non valga a seguire il corpo vibrante nel suo moto: i primi due sono conseguenza delle leggi delle vibrazioni, gli altri sono fondati su apparecchi speciali: la moltiplicità dei metodi, che sebbene assai differenti tra loro danno identico risultamento, vale a renderlo più certo.

1. *Corda vibrante.* Una corda, di cui l rappresenta la primitiva lunghezza, sia tesa così debolmente, che si possano contare ad occhio le vibrazioni fatte in un certo tempo: e sia n il numero di queste vibrazioni. Se trasportando il ponticello si renda successivamente più corta la corda, le vibrazioni diventano più rapide, e finalmente la corda darà quel suono che si vuole: misurisi la lunghezza l', a cui allora è ridotta; per la legge stabilita (182, 1°) avremo il numero assoluto di vibrazioni fatte in quel dato tempo e

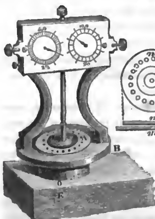
rispondenti al suono in quistione per mezzo della proporzione

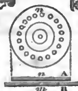
$$l' : l :: n : x.$$

2. *Lamina vibrante.* Sia l la lunghezza primitiva d'una verga o lamina fissa con morsa ad una estremità e libera a vibrare dall'altra, la quale compia in un dato tempo un numero n di vibrazioni, che si possano contare ad occhio. Si rende poi successivamente minore la sua lunghezza finchè dia il suono che si vuole, e sia l' questa lunghezza ridotta: il richiesto numero x di vibrazioni sarà dato dalla proporzione (183)

$$l'^2 : l^2 :: n : x.$$

3. *Sirena acustica.* Il mezzo più esatto e più semplice è la Sirena di Cagnard-Latour, la quale meccanicamente indica il numero di vibrazioni che compie in 1″ una colonna d'aria nell'atto di dare il suono che piace. Essa viene rappresentata nel complesso dalla fig. 165: le figure 166 e 167 ne fan comprendere l'interno e i det-





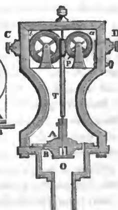


Fig. 165. Fig. 166. Fig. 167.

tagli. Componesi d'un tamburo cilindrico di metallo O di otto a dieci centimetri di diametro, e di tre o quattro d'altezza; è munito inferiormente di tubo adduttore della corrente d'aria, e chiuso di sopra col fondo B, nel quale sono de' fori in giro. A' di sopra un disco A raccomandato all'asse T e girevole con esso, nel quale pure sono scolpiti de'fori ugualmente situati che quelli del fondo B, cioè dello stesso numero e ad uguale distanza tra loro e dal centro; sol che i loro assi sono obbliqui alla superficie che

traversano nella direzione opposta a quella de'fori di B: la quale opposta inclinazione si osserva nella fig. 159 dalle direzioni *n*, *m* che s'incontrano ad angolo. Ciò posto, se spingesi una corrente di aria nel tamburo O, questa passando pe'fori obbliqui del disco mobile A eserciterà una pressione contro la loro superficie superiore, e determinerà con ciò il disco a rotare pel verso opposto alla inclinazione de' fori: la velocità sarà dipendente da quella con cui l'aria penetra nel tamburo. Sopponiamo dapprima che il fondo B porti 20 fori, ed uno il disco mobile A: mentre l'asse T compie una rotazione intera, il foro di A coinciderà successivamente con i 20 fori del fondo B, e per conseguente venti volte l'aria spinta passerà per essi, venti volte sarà retrospinta, ossia compirà venti vibrazioni, le quali quando si succedano con rapidità sufficiente generano un suono. Se è maggiore il numero di fori del disco mobile, purchè non ecceda il numero venti, non saranno perciò più frequenti le coincidenze, e quindi neanco le vibrazioni, o sia l' acutezza del suono resta la medesima: la coincidenza però di più fori darà origine ad onde contemporanee, le quali renderanno il suono più intenso.

I numeri delle vibrazioni vengono indicati a questo modo. L'asse T porta in alto de'filetti di vite perpetua, i quali s'incastrano con una ruota dentata a cento denti *a* così, che per ogni rotazione dell'asse la ruota si volga di un dente. Inoltre alla circonferenza della ruota *a* è unita una punta sporgente P, la quale ad ogni rivolgimento di quella fa girare di un dente una seconda ruota dentata *b* situata dal lato opposto dell'asse. Per siffatta descrizione s'intende che se agli assi delle due ruote *a*, *b*, vadano congiunti due indici moventisi con quelle e scorrenti lungo due circonferenze graduate, il primo d'essi segnerà le rotazioni semplici dell'asse T, il secondo le centinaia di rotazioni. In ultimo i due bottoni C, D, servono a stabilire o a torre la comunicazione tra l'asse T e le ruote dentate, affinchè sia possibile a piacere far che l'asse rivolgasi lasciando le ruote in riposo.

Se dunque vogliasi definire il numero assoluto di vibrazioni di un dato suono, si adatta la sirena pel tubo adduttore della corrente d'aria sopra una cassa E munita di mantice; e renduta la rotazione dell'asse T indipendente dalle ruote si agiti il mantice più o men fortemente finchè la sirena dia il voluto suono. Ciò ottenuto, si stabilisca la relazione tra l' asse e le ruote, e si guardi un pen-

dolo che batte i secondi: dopo un qualche tempo, per esempio un minuto primo, si rende di nuovo l'asse indipendente dalle ruote, e gl'indici si arrestano. Si sommino allora le centinaia e le unità di rotazioni dell'asse date dagl'indici, e si moltiplichino pel numero de'fori scolpiti nel disco A: questo prodotto sarà l'intero numero di vibrazioni doppie fatte dall'aria durante l'esperimento: laonde diviso per due darà le vibrazioni semplici, e poi diviso pel numero de'secondi darà le vibrazioni fatte in 1''.

Cotesto strumento vien chiamato *sirena*, poichè dà suono anche animato da una corrente d'acqua, nel quale caso fa d'uopo immergerla tutta nel liquido. Inoltre si avrà sempre lo stesso suono comunque facciasi parlare la sirena con l'acqua con l'aria o con altro aeriforme, purchè sia la medesima la velocità di rotazione del disco: donde rilevasi che l'acutezza del suono non dipende dalla natura del corpo sonoro, ma solo dalla rapidità delle intermittenze nello scolo, ossia dal numero delle vibrazioni.

4. *Ruota dentata*. Anche la ruota dentata di Savart (176, 3) si presta bene a risolvere il problema che al presente ci occupa. Ed in vero agitando la ruota motrice più o men rapidamente si può ottenere il suono che piace dalle vibrazioni della piccola lamina urtante contro i denti della ultima ruota. Ciò conseguito, si mantenga costante per tutta l'esperienza la velocità di rotazione. Or per essere noto il numero di denti delle varie ruote, si conosce pure quante rotazioni compie l'ultima mentre la prima ne fa una sola: laonde moltiplicando le rotazioni di questa ultima ruota pel numero de'suoi denti si avrà quello degli urti ricevuti dalla laminetta. Si divida tal numero per quello de'secondi, e si raddoppi il quoziente, poichè ad ogni urto corrispondono due vibrazioni: sarà questo il numero delle vibrazioni fatte in 1''.

Applicazioni. Si è conosciuto con questi metodi che i limiti estremi della voce d'un uomo sono 192 e 633 vibrazioni al 1'',e che quella d'una donna si può estendere tra 576 e 1620 vibrazioni. Al *corista* per ordinario si fa rendere il suono la_3, che corrisponde a 428 vibrazioni doppie; ma presenta il grave inconveniente del non esser costante nel senso che ogni paese, e financo quasi ogni teatro adopera il suo. Infatti in Parigi il corista dell'opera francese fa 431,32 vibrazioni per 1'', quello dell' opera comica 427,16 e quello del teatro italiano 424,02. Nella idea di torre questo sconcio Marloye à costruito un *corista campione* che fa 512 vibrazio-

ni semplici per 1'', e di tale intensità da udirsi bene a 30 metri di distanza. Or per determinarne il valore si rifletta, che prendendo per punto di partenza, per un primo *do* ideale, un suono che formasse una vibrazione al 1'', l'onda sonora che eseguisse 2, 4, 8, 16 vibrazioni per 1'' darebbe i *do* successivi: il suono corrispondente a 128 vibrazioni o a un numero indicato dalla 7.ª potenza di due è il suono che Cladni à chiamato do_{1}. Il suono del corista campione di Marloye è dunque il do_{3} del *do* fondamentale di Cladni.

Lunghezza delle onde sonore. Conosciuto il numero di vibrazioni costituenti un suono, riesce facile dedurne la lunghezza dell'onda sonora che gli corrisponde. Supponiamo infatti che un corpo sonoro faccia una sola vibrazione in 1''; poichè il suono in tal tempo percorre 340 metri, anche 340 metri sarà la lunghezza dell'onda: se compie 10 vibrazioni al 1'' la lunghezza dell'onda sarà 34 metri; se 100 vibrazioni 3, 4 metri; se 1000 vibrazioni 0,34 metri.

188. **Numero relativo di vibrazioni per ciascun suono.** Potrebbe inferirsi dal numero assoluto di vibrazioni costituenti ogni suono; ma riuscirebbe troppo lungo al confronto di altri metodi assai più spediti. Più semplice di tutti è l'uso del *monocordo* o *cordometro* (182). Si prenda pel *do* della scala, il più grave suono della corda nell'atto che vibra con tutta la lunghezza; questa lunghezza, e'l corrispondente numero di vibrazioni si prendano per unità, a cui si riferiscano le lunghezze di corda e le vibrazioni rispondenti agli altri suoni. Si vada ora scorciando la corda, e si saggi finchè l'orecchio ne avvisi la esistenza del *re*: misuratala si trova ridotta agli 8/9 della lunghezza primitiva. Adunque (ibid. 1°) le vibrazioni costituenti il *re* saranno 9/8 di quelle del *do*.

Così sperimentando otterrem le lunghezze di corda e le vibrazioni relative per tutt'i suoni del gamma. Quando la corda sarà ridotta alla metà si avrà l'ottava, il do_{2} il quale perciò sarà d'un numero doppio di vibrazioni del *do*: il risultamento delle esperienze per tutt'i suoni della scala è come segue:

Suoni del gamma	*do*,	*re*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*,	do_{2}	
Lungh. relative di corda	1,	$\frac{8}{9}$,	$\frac{4}{5}$,	$\frac{3}{4}$,	$\frac{2}{3}$,	$\frac{3}{5}$,	$\frac{8}{15}$,	$\frac{1}{2}$..	(A)
Numeri relat. di vibrazioni	1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2..	(B)

Per meglio scorgere a colpo d'occhio la relazione tra i valori nu-

merici de'suoni, riducansi al medesimo denominatore 24 tutt'i numeri della serie B, ed avremo per numeratori i numeri

24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48;

ciò significa, che se assumesi per *do* il suono d'un corpo che fa 24 vibrazioni in 1″, esso darà con 27 vibrazioni il *re*, con 30 il *mi*, e così di seguito.

Non altrimenti procede la cosa operando sulla metà di una corda; ossia le lunghezze di corda e 'l numero di vibrazioni de'suoni della seconda ottava ànno la medesima relazione fra loro che quelli della prima ; e così per le ottave seguenti. Laonde il numero relativo di vibrazioni per un suono di qualunque ottava sarà quello della ottava fondamentale moltiplicato per una potenza di 2 espressa dal grado dell'ottava meno l'unità.

Il quale ragionamento ci somministra un metodo facile per risolvere i tre seguenti problemi.

1.° Data la nota d' un suono e la ottava cui appartiene, si può conoscerne il corrispondente valore numerico; così il *mi* della quarta ottava sarà espresso da $\frac{5}{4} \times 2^3 = 10$.

2.° Vicendevolmente dato il valore numerico d'un suono si può determinarne la nota e la ottava, dividendo replicatamente quel numero per 2 finchè si abbia per quoziente uno de'valori numerici della scala fondamentale.

3.° Risaputo il valore relativo de'suoni della scala può determinarsi il valore assoluto di tutti purchè si conosca quello d'un solo; e ciò moltiplicando questo successivamente pe'termini della serie (B). Così essendo 128 il *do* più grave del piano, si otterrà il *sol* da $128 \times \frac{3}{2} = 162$, e 'l *si* da $128 \times \frac{15}{8} = 240$.

189. **Toni, teoria della musica.** La differenza delle impressioni prodotte nell'orecchio da due suoni successivi del gamma è una conseguenza del rapporto delle vibrazioni che loro corrispondono: adunque può avere per misura questo medesimo rapporto. Si ottiene il valore numerico di tale relazione, che dicesi pure *tono*, o *intervallo*, dividendo ogni numero della serie (B) per quello che immediatamente il precede, ed avremo

do, re, mi, fa, sol, la, si, do₂

$$\frac{9}{8}, \frac{10}{9}, \frac{16}{15}, \frac{9}{8}, \frac{10}{9}, \frac{9}{8}, \frac{16}{15} \ldots \text{(C)}.$$

Adunque gl'intervalli non sono tutti uguali; ve n'à tre più gran-

di espressi da 9/8 e diconsi *toni maggiori*, due più piccoli 10/9 e si chiamano *toni minori*, e altri due $\frac{16}{15}$ ai quali si dà il nome di *semitoni maggiori* perchè superano l' unità di 1/15, che è a un di presso metà di 1/8.

Comma, diesi, bemolle. Paragoniam fra loro questi intervalli. La relazione fra un tono maggiore e un minore espressa da

$$\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$$

dicesi *comma*; è il più piccolo intervallo che vien ricordato in musica; e poichè solo dopo lungo esercizio un orecchio dilicato avverte la tenue differenza tra due suoni, le cui vibrazioni stanno fra loro come 80: 81, il comma si trascura, e si ritengono uguali i toni maggiori ed i minori.

La relazione poi di un tono minore a un semitono maggiore è

$$\frac{10}{9} : \frac{16}{15} = \frac{25}{24},$$

ossia un tono minore viene aumentato di un semitono quando il numero di sue vibrazioni cresce nella ragione di 24: 25, e vien diminuito di un semitono allorchè varia nella ragione di 25 : 24.

Finalmente l' intervallo tra un tono maggiore e un semitono è

$$\frac{9}{8} : \frac{16}{15} = \frac{135}{128} = \frac{25}{24} \times \frac{81}{80} ;$$

ossia non valutando il comma, e però assumendo uguale alla unità la frazione $\frac{81}{80}$, si à il medesimo risultamento che nel precedente caso. Una nota accresciuta d'un semitono, ossia renduta più alta nel rapporto di 24 : 25, s'indica col segno ♯ che chiamasi *diesi;* e similmente una nota affetta dal *bemolle b* s'intende diminuita d'un semitono, cioè divenuta più bassa nel rapporto di 25 : 24. Il monocordo può servire per verificare colla esperienza il ragionamento: misurinsi le lunghezze di corda rispondenti l'una ad un suono della scala naturale, l'altra al medesimo suono *diesi*, e si trovano essere nella ragione di 25: 24; succede il contrario nel passaggio di una nota alla stessa modificata da *bemolle.*

Ciò premesso, assumendo uguali i toni maggiori e i minori, e uguali pure tra loro i semitoni, potrem rappresentare i primi con

1, gli altri con 1/2; e la scala naturale prenderà questo aspetto

do, re, mi, fa, sol, la, si, do₂

$$1,\ 1,\ \frac{1}{2},\ 1,\ 1,\ 1,\ \frac{1}{2}\ .\ .\ .\ .\ .\ (D)$$

Or non essendo uguali nella scala gl'intervalli, è chiaro che se invece di cominciarla dal *do* si assnmesse un'altra nota per suo principio, gl'intervalli più non si succederebbero col medesimo ordine che in (C), (D), ed il canto o l'armonia non serbando lo stesso carattere ne verrebbero alterati. È necessario dnnque in qnesti casi modificar la scala intercalando tra le note separate da un tono maggiore o minore una o due note, elevare la inferiore, o abbassare la superiore. Vale a tal uopo l'uso de'diesi e de' bemolli. Così ove la scala presenta un tono minore 10/9 se vuolsi un semitono maggiore, si anmenta la nota inferiore o si diminuisce la superiore nel rapporto $\frac{25}{24}$: in ambo i casi l'intervallo diventa $\frac{10}{9}\times\frac{24}{25}=\frac{16}{15}$, cioè un semitono maggiore senza neppure la differenza di un comma; altre volte incontrasi questa differenza e si trascura. Togliamo ad esempio la scala di *mi*

mi, fa, sol, la, si, do₂, re₂, mi₂

$$\frac{1}{2},\ 1,\ 1,\ 1,\ \frac{1}{2},\ 1,\ 1,$$

ben diversa dalla serie (D); ma apponendo un diesi a ciascuna delle quattro note *fa, sol, do, re,* si trasforma nell'altra

mi, fa♯, sol♯, la, si, do♯, re♯, mi₂

$$1,\ 1,\ \frac{1}{2},\ 1,\ 1,\ 1,\ \frac{1}{2}$$

identica in tutto alla scala naturale.

Avvi degli strumenti capaci di dare i toni naturali, e più i loro diesi ed i bemolli. Tale è l'arpa di Erard, in cui ad ogni corda risponde una specie di forchetta a tre denti con tale un meccanismo, che il suonatore può toccare la corda con ciascuno d'essi a piacere. Toccandola col dente medio ne ottiene il suono naturale, toccandola poi con uno degli altri due, la corda rimane allungata o scortata nella ragione di 24 : 25 e dà il bemolle o il diesi.

Scale in terza maggiore o in terza minore. La scala di *do* à per terzo suono *mi*, il cui valore è 5/4; ossia le sue vibrazioni stanno a quelle del do nella ragione 5/4 o di 5 : 4. Avviene il medesimo per tutte le scale ridotte simili a quella di *do*.

Ma se compongasi una scala di *la* procedente a questa guisa

$$la,\ si,\ do_2,\ re_2,\ mi_2,\ fa\sharp_2,\ sol\sharp_2\ la_2$$

$$1,\ \frac{1}{2},\ 1,\ 1,\ 1,\ 1,\ \frac{1}{2};$$

essa cagionerà pure all'orecchio sensazione gradevole, sebbene lo andamento de'toni sia diverso da quello della scala *do*; e poichè il *la* è 5/3, e 'l do_2 à per valore 2, il terzo tono sarà 2: 5/3, ossia 6/5. Non altrimenti succede nelle scale simili.

Le prime scale aventi per terzo tono 5/4 sono dette in *terza maggiore*; queste ultime, di cui il terzo tono è 6/5, si chiamano in *terza minore*; perchè $\frac{5}{4} = 1 + \frac{1}{4}$ è maggiore di $\frac{6}{5} = 1 + \frac{1}{5}$.

Temperamento. Un istrumento a suono fisso, comecchè costruito con tale artifizio da poterne cavare a piacimento i suoni naturali e i diesi e i bemolli nelle ottave alte e nelle basse, pur non sarebbe adatto a produrre un'armonia e ad accompagnare un canto esatto, che si estendesse a suoni molto lontani tra loro per una serie di ottave. Imperocchè procedendo per ordine, i *commi* che abbiam trascurati si sommano, e costituiscono una differenza notevole tra il suono teoretico e l'effettivo. Di quì la necessità di modificare o d'alterare alquanto le note del gamma musicale a semitoni intercalati per rendere il più che si possa insensibile quella discordanza. I metodi per conseguir questo scopo ànno il nome di *temperamenti*, e fra i varî si è prescelto il seguente. Poichè è un fatto primitivo costante, che l'orecchio non soffre alterazione di sorta nelle ottave, sibbene nelle terze e nelle quinte dentro certi limiti, si è divisa la scala naturale, ch'è formata di 5 toni e 2 semitoni, in 12 semitoni uguali; si aumentano d'un poco le terze, e si diminuiscon le quinte, lasciando invariate le ottave. L'orecchio non avverte tali piccole differenze, allorchè l'orchestra si compone tutta di strumenti a suoni fissi e *temperati* a questo modo; ma accoppiandosi ai primi degli strumenti che ammettono tutte le successioni di tuono dal grave all'acuto d'una maniera continua, come il violino, il violoncello, la voce umana, le alterazioni prodotte dal temperamento diventerebbero sensibili, se questi rendessero i suoni con esattezza; e però la voce deve *temperare* anch'essa allorchè il canto è accompagnato dall'una e dall'altra specie di strumenti.

190. Accordi, dissonanze, suoni armonici. V' à dei suoni, che venendo simultaneamente all'orecchio vi generano sensazione piacevole, e degli altri che la producono disaggradevole : quelli si dicono *accordi*, questi *dissonanze*. L'accordo più semplice è l'*unisono*, dato da due suoni costituiti d'un medesimo numero di vibrazioni: dopo l'unisono è l'*ottava*, e poi vengono l'accordo di *quinta*, di *terza maggiore* e *minore*, di *quarta*. L'esperienza ne ammaestra che la sensazione d'un accordo è non solo indipendente dalla intensità e dalla tempra, ma financo dall'acutezza assoluta dei due suoni; così *do* e *sol*, do_2 e sol_2, do_3 e sol_3, i quali suoni rendono l'accordo di quinta, faranno la stessa impressione, sebbene ne'due ultimi il numero delle vibrazioni sia doppio e quadruplo di quello del primo accordo. Dunque non il numero di vibrazioni, nè la loro differenza, ma solo il rapporto di quelle, ossia la posizione relativa dei due suoni, costituisce gli accordi.

Per esporre quel che la scienza attualmente possiede intorno alla cagione degli accordi, premetto i teoremi seguenti:

1. Tutte le note del periodo musicale si contengono nei tre accordi che diconsi *perfetti*, perchè cagionano nell'orecchio la sensazione più gradevole. Un accordo perfetto vien costituito da tre suoni simultanei, il primo de'quali col secondo formi una terza maggiore, il secondo col terzo una terza minore, il primo col terzo una quinta. É agevole intendere che van combinati a questo modo

$$\begin{matrix} fa_{-1}, & la_{-1}, & do, & & do, & mi, & sol, & & sol, & si, & re_2 \\ \frac{2}{3}, & \frac{5}{6}, & 1. & & 1, & \frac{5}{4}, & \frac{3}{2}. & & \frac{3}{2}, & \frac{15}{8}, & \frac{9}{4}; \end{matrix}$$

or se riducansi al medesimo denominatore i valori numerici dei tre suoni costituenti ciascun accordo, si scopre che i numeri relativi di loro vibrazioni stanno nella ragione di 4: 5: 6.

2. Allorchè si ascolta un suono grave e sostenuto, come quello di una corda tesa, di una campana, di una canna di organo, un orecchio attento e dilicato oltre il suono fondamentale ne distingue ancora degli altri. Supponiamo che il suono fondamentale, il più grave della serie, venga espresso da 1 e sia *do*; il secondo suono più facile a distinguere sarà l'ottava acuta della quinta $sol_2=3$, poi la doppia ottava della terza $mi_3=5$, e finalmente la ottava $do_2=2$, e la doppia ottava $do_3=4$: pare che alcuni ne distinguano ancora degli altri più acuti. Questi cinque suoni

$$\begin{matrix} do & do_2 & sol_2 & do_3 & mi_3 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix}$$

si chiamano *armonici*. La cagione di tale coesistenza di suoni è riposta nella maniera di suddivisione di una corda (182), di nna lamina, di un corpo sonoro qualunque, ed anche d'una colonna d'aria, in parti aliquote vibranti, e di tali dimensioni da produrre i suoni armonici: le parti uguali vibrano all'nnisono : non si turbano scambievolmente le parti maggiori e le minori.

Alle qnali cose aggiungi, che le vibrazioni si trasmettono agevolmente da un corpo sonoro a un altro attraverso l'aria; e però quando più suoni del gamma pervengono insieme all'orecchio, le singole parti dell'organo debbono vibrare all'unisono di ciascuno d'essi. Laonde se quei suoni coesistenti sono gli *armonici*, se cioè appartengono al medesimo sistema di vibrazioni, le quali sono atte a coesistere senza alterarsi a vicenda, produrranno sensazione piacevole: se per converso non appartengono allo stesso sistema di vibrazioni, se non sono atte a coesistere, se in una parola sono due suoni discordanti, son costretti i muscoli dell'udito a movimenti bruschi per saltare di presente da un modo di vibrazione a un altro : la interruzione istantanea delle vibrazioni preesistenti per succederne altre e poi di nuovo le prime, è la cagione di quella impressione lacerante che vien prodotta da una discordanza.

191. **Suoni di combinazione**. Allorchè pervengono insieme all'orecchio due suoni del gamma,dalla loro coesistenza si prodnce talvolta nn terzo suono più grave di entrambi. È evidente la teorica di questi, che sono detti *suoni del Tartini*, perchè il Tartini ne fè menzione la prima volta nel 1754. Infatti se coesistono due snoni aventi differente acntezza e costitniti perciò da un numero diverso di vibrazioni o di battimenti regolari, in alcuni istanti questi battimenti perverranno unitamente all'orecchio; vi saranno cioè delle coincidenze anch'esse con periodo uniforme, o ad intervalli regolari, sebbene questi sieno più lunghi o più distanti tra loro di quel che sono le vibrazioui dell'uno e dell'altro snono contemporaneo. Laonde se tali coincidenze sono abbastanza rapide quanto richiedesi, si genererà un suono di combinazione, ma più grave de'dne che il producono: nel caso contrario si avrà la sola sensazione di un battimento di maggiore intensità nella coincidenza delle vibrazioni, il quale à molta somiglianza al *rullare* di un tamburo. Se i suoni coesistenti sono assai diversi di acntezza, le coincidenze saranno più frequenti e più facilmente si ottiene il terzo suono.

Risuonino ad esempio do_2, mi_3: i loro valori sono 2 e 5, cosicchè mentre do_2 fa due vibrazioni, mi_3 ne farà cinque; cioè ogni 2ª, 4ª, 6ª,..... vibrazione del do_2 ed ogni 5ª, 10ª, 15ª....del mi_3 avremo una coincidenza ; la serie di queste coincidenze genererà dunque il do, ossia un suono che starà al do_2 nella ragione di 1:2, ed al mi_3 nella ragione di 1 : 5.

Se si fan cantare nello stesso tempo i suoni armonici

$$\begin{matrix} do, & do_2, & sol_2, & do_3, & mi_3, \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix}$$

si avverte, che sebbene avessero tutti separatamente eguale intensità, pure il *do* si risentirà con forza assai maggiore a segno che un orecchio meno squisito non avverte forse che quel solo. La ragione di ciò è evidente: poichè la coesistenza di due qualunque di questi suoni o d'un numero maggiore di essi tende a produrre sempre il più grave il *do*, come rilevasi ad occhio dalla fig. 168, e si dimostra ripetendo a parola il discorso col quale deducemmo aversi pure il *do* da do_2 e mi_3.

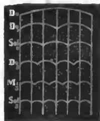


Fig. 168.

192. Composizione de'moti vibratori. Lissajous à ideato un metodo semplice atto a rendere sensibile all'occhio la traiettoria delle vibrazioni complesse di due corpi sonori, ad esempio di due coristi per definirne gli accordi e correggerli.

Può sperimentarsi per proiezione e per visione diretta.

Entri prima per un foro in una camera oscura un fascio di luce solare, e dopo aver traversato una lente convergente cada sopra un piccolo specchio fissato all' estremo d' una delle branche del corista, e riflesso da esso cada sopra un secondo specchio. È chiaro che dopo queste due riflessioni darà sopra un muro bianco l'imagine I del picciol foro (fig. 169). Ma se facciasi vibrare il corista , il punto luminoso I si trasformerà in una linea allungata H ; e questa nella linea sinuosa SS', se mentre il corista vibra, il secondo specchio gira intorno a un asse così da far muovere la imagine perpendicolarmente all'allungamento H: una lampada dà lo stesso effetto , e meglio la luce elettrica.



Fig. 169.

Unisono	ottava	quinta dell'ott.	quinta	quarta.
				
0	0	0	0	0
				
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	
				
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{12}$
				
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$	
				
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{12}$
				
$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$	
				
$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{12}$
				
$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{16}$	
				
1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{4}{12}$

Fig. 170.

Ciò premesso, abbiansi due coristi muniti dei loro specchietti, e dispongansi l'uno verticale, l'altro orizzontale così, che il fascio luminoso riflesso dal primo e poi dal secondo dia sul muro la imagine netta. Se vibra solo il corista verticale, la imagine si allunga orizzontalmente: se il solo orizzontale, si allunga verticalmente; ma se vibrano entrambi, i due moti si compongono, e la imagine descrive una curva più o meno complicata giusta la relazione degli accordi de' coristi.

Se i coristi sono all'unisono (1:1) si avrà per imagine una delle linee della prima serie (fig. 170), e l'una piuttosto che l'altra secondo la differenza di fase; cioè il ritardo tra la vibrazione orizzontale e la verticale. I numeri tra le figure denotano appunto tal differenza. Le serie seguenti contengono figure più complicate; ed appartengono all'ottava (1:2), alla quinta dell'ottava (1:3), alla quinta (2:3), alla quarta (3:4). La figura è persistente se i coristi sono in perfetto accordo; se in lieve disaccordo, passa successivamente per tutte quelle della propria serie.

La imagine presenta la stessa apparenza guardandola con visione diretta. A tal fine si covre una lampada (fig. 171) con tubo opaco

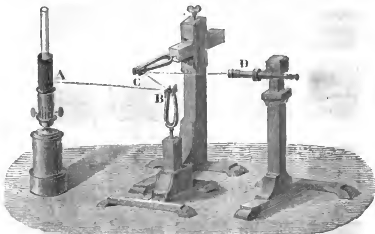


Fig. 171.

così, che la luce ne esca solo per un picciol foro A: cada sul primo corista B, e poi sul secondo C; e si guarda col cannocchiale D.

VIBRAZIONE DELLE COLONNE D'ARIA RINCHIUSE NE'TUBI
E TEORIA DEGLI STRUMENTI DA FIATO.

193. **Dell'aria considerata come corpo sonoro.** L'aria è non solamente il più ordinario veicolo del suono, ma può far le parti di corpo sonoro e generarlo. Ne è argomento il risuonare delle casse d'aria allogate in vicinanza d'un corpo sonoro qualunque, come si usa pel corista e pel cordometro, e si fa generalmente per tutti gli strumenti a corda. In essi le vibrazioni delle corde si trasmettono per mezzo del cavalletto alla tavola superiore, e mediante così lo spirito che i tasselli all' aria della cassa, ed alla sua superficie inferiore; ma è dell'aria massimamente la funzione di rinforzare il suono, comecchè tutto il sistema di parti solide ne modifichi la tempra. Perchè l'aria risuonante produca maggiore effetto è necessario che possa dare l'unisono della corda, o che compisca nello stesso tempo un numero di vibrazioni che stia a quello della corda nella ragione de'numeri 1, 2, 3, 4, 5. Savart per rendere più sensibile questo fenomeno e studiarne meglio le leggi à ideato l'apparecchio espresso nella fig. 172; esso componesi di una campana A di cristallo o di metallo poggiata sovra una colonnetta, e d'un sistema di due tubi di metallo B scorrenti uno nell' altro a modo de'tubi di cannocchiale. Dippiù tutto il sistema, che può essere o aperto da ambo i lati, o chiuso con fondo da una parte, à pure un doppio movimento: l'uno di rotazione pel quale l'orlo superiore o l'inferiore si può situare a livello della campana, e l' altro di traslazione così che insieme con la sua base possa appressarsi alla campana o allontanarsene. Siffatta costruzione permette di far variare a piacimento le dimensioni ed il posto della colonna d' aria. Determinando dunque la campana a vibrare con un arco, il suono ne riesce assor-



Fig. 172.

dante sulle prime; cessa del tutto, se quando è sensibilmente affievolito si allontana il sistema di tubi, e poi di nuovo appressandolo si risente da capo. Savart à scoverto che l'effetto è tanto più agevole a produrre e più intenso, quanto è maggiore il diametro de'tubi in confronto di loro lunghezza.

Anche l'idrogeno bruciante ci dà argomento per dimostrare un tal teorema. Se al collo d'una bottiglia, da cui si svolge idrogeno, si aggiusta con sughero un tubo assottigliato in cima, e quando tutta l'aria è espulsa si avvicina a quell'estremo un cerino acceso, la corrente d'idrogeno si accende colassù in una pallida fiammella, e costituisce la volgare esperienza della *lampada filosofica*. Se poi questa fiammella introducasi in un tubo di cristallo di maggior diametro, avremo allora il fenomeno che fu detto *armonia chimica*; ossia si genererà un suono sostenuto, del quale l'acutezza dipende dalla intensità della fiamma e dalle dimensioni del tubo esterno. Brugnatelli il primo studiò questo fatto, spiegato poi da De la Rive mediante le rarefazioni e le condensazioni rapide del vapor d'acqua generatosi nel bruciar dell'idrogeno, le quali imprimono un moto di vibrazione all'aria del tubo. Ne è prova l'agitazione violenta della fiammella; ma il fisico di Ginevra vi aggiunse altri fatti, e con introdurre nel tubo un getto di vapore d'acqua o di mercurio fortemente compresso ottenne pure un suono.

194. Vibrazione degli aeriformi ne'tubi: leggi di Bernoulli. Passi un aeriforme sfiorando l'orifizio d'un tubo senza che penetri in esso. È la maniera più semplice per determinare a dar suono l'aria del tubo; e ci conviene far tale ipotesi nello esporre e dimostrare le *leggi di Daniele Bernoulli*, da lui pubblicate nel 1762, comecchè si avverino qualunque sia il modo d'imprimere all'aeriforme vibrazioni sonore, sol che la corrente d'aria abbia velocità costante: condizione assolutamente richiesta ad aversi un suono sostenuto.

1. *Tubo chiuso da un de'lati*. Primamente consideriamo il tubo aperto da un lato, chiuso dall'altro. La corrente aeriforme, che scorre rasente l'orlo aperto del tubo, genera nell'aria contenutavi una serie di onde condensate e rarefatte, le quali partendo dall'orifizio si propagano con la velocità propria del suono verso il fondo chiuso, e poi retrocedendo si riflettono sopra se medesime senza turbarsi a vicenda, pel principio della *sovrapposizione de'piccoli movimenti*. La velocità, che si trasmette con successione per

tutti gli strati d'aria del tubo, sarà senza fallo massima all'orifizio, e andrà diminuendo per gradi finchè diventi nulla al fondo. Inoltre questi strati nella prima metà dell'onda, ossia nell'onda condensata, sono spinti addensandosi verso il fondo chiuso, e nella seconda metà dell'onda retrocedendo si scostano da quello; ma il primo strato non soffrirà alterazione di densità, poichè essendo a contatto dell'aria esterna si equilibra sempre con essa. Adunque lo strato d'aria che tocca il fondo à necessariamente questi due caratteri: la sua velocità è zero, e soffre un cangiamento massimo di densità; e per converso lo strato a contatto dell'orifizio vi possiede un massimo di velocità, e non subisce alternative nella densità. E però ritenendo la denominazione usata in trattare delle vibrazioni longitudinali delle corde e delle verghe, diremo, che nell'aria risuonante in un tubo a fondo chiuso deve formarsi un nodo di vibrazione al fondo, un ventre all'orifizio.

Or codesta duplice condizione può avverarsi in diversi modi. Imperocchè la corrente esterna può variar di forza, con che la colonna interna si divide in parti vibranti all'unisono tra loro in opposte direzioni e separate da superficie nodali. Perciò uno stesso tubo è capace di generare in diverse circostanze suoni di molto differente acutezza: vediam la serie di questi suoni, la lunghezza delle onde sonore per ciascuno, e la posizione de'ventri e de' nodi, come nella fig. 173.

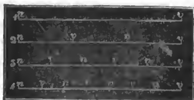


Fig. 173.

Il suono più grave si ottiene allorchè la intensità della corrente esterna è tale da permettere che la colonna interna vibri in tutta la sua lunghezza senza suddivisioni: allora avrem solamente un ventre v all' orifizio, un nodo n al fondo (fig. cit. 1.); l' onda condensata uguaglierà la lunghezza l del tubo, e così pure l'onda rarefatta: e la lunghezza dell'onda intera sarà $2\ l$; questo rappresenterà il suono fondamentale del tubo che potremo esprimere con 1. Può aversi un secondo suono più acuto rendendo la corrente esterna più intensa; e si troverà che a norma delle condizioni invariabili di un ventre all'orifizio e di un nodo al fondo e delle suddivisioni della colonna in parti vibranti all' unisono, potrà stabilirsi un altro nodo ad un terzo del tubo dall'orifizio, ed

un altro ventre pure ad un terzo del tubo dal fondo : la distanza dunque tra un ventre e un nodo sarà 1/3 l, e quindi la lunghezza dell'onda 2/3 l, e il numero relativo di vibrazioni 3. Nella stessa guisa otterrassi il terzo suono in acutezza quando si stabiliranno, oltre il ventre e il nodo estremi, due altri nodi a 1/5 e a 3/5 di distanza dall'orifizio, e due altri ventri a 1/5 e a 3/5 di distanza dal fondo, cosicchè la lunghezza rispondente dell'onda sarà 2/5 l. Così pure un quarto suono con 3 altri nodi e tre ventri a distanza scambievole uguale a 1/7 l, e così di seguito. La serie dunque di suoni che si ottengono da uno stesso tubo avrà per lunghezze di onda

$$2\,l,\ \frac{2}{3}\,l,\ \frac{2}{5}\,l,\ \frac{2}{7}\,l,\ldots\ldots\ldots\ldots$$

e i numeri relativi di vibrazioni daran la serie dei numeri impari

1, 3, 5, 7, 9, 11........

i suoni cioè saranno

do, sol_2, mi_3, la^*_3, re_4, $^*fa_4\sharp$, $la_4\ ^*b$, si_4,........;

l'asterisco segnente la nota indica che il suono è un poco più alto di essa, il precedente accenna che è d'un poco più grave.

2.° *Tubo aperto da ambo i lati*. Sia ora un tubo aperto ai due estremi. Saran colà due ventri v, v'; laondo una prima maniera e la più semplice di vibrazione richiederà un nodo n nel mezzo (fig. 174): questo è il suono più grave corrispondente ad una lunghezza di onda pari alla lunghezza l del tubo. È bello osservare che le lunghezze delle onde in un tubo chiuso ad un estremo, o aperto ad entrambi, sono $2l$ e l; e però i numeri di loro vibrazioni stanno nel rapporto 1 : 2, cioè il secondo dà l'ottava alta del primo.

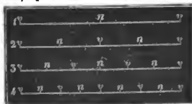


Fig. 174.

Con facile ragionamento si deduce, che si à un secondo suono più alto formandosi un altro ventre nel punto medio del tubo, e due altri nodi, ciascuno ad 1/4 del tubo dall'estremo vicino; la lunghezza perciò della sua onda è 1/2 l. Così un terzo suono con un'onda uguale a 1/3 l; un quarto con un'onda di 1/4 l, e così di seguito. E però essendo le lunghezze delle colonne vibranti

$$l,\ \frac{1}{2}\,l,\ \frac{1}{3}\,l,\ \frac{1}{4}\,l,\ \ldots\ldots\ldots\ldots$$

i corrispondenti suoni costituiranno la serie de'numeri naturali

1, 2, 3, 4, 5,......

do, do_2, sol_2, do_3, mi_3, sol_3, la^*_3, do_4,....

Dimostrazione sperimentale. V'è un mezzo assai semplice per assicurarsi della posizione de'nodi e de'ventri secondarl di vibrazioni secondo le leggi esposte. In quanto ai nodi si adopera un tubo piuttosto lungo, nel cui interno si fa scorrere mediante un'asta e fermare dove occorre uno stantuffo di tenuissima spessezza : è chiaro che dove questo vien collocato si stabilisce un nodo. Agginstato dunque il tubo senza lo stantuffo sopra una cassa munita di mantice, si fa parlare col suono che meglio piace: poscia s'introduce lo stantuffo, e si fissa là dove secondo la teoria di Bernoulli dovrebbe formarsi un nodo per quel dato suono: se il suono rimane invariato, si argomenta che anche prima colà si era formato un nodo. In secondo luogo per iscoprire la posizione de'ventri vengono scolpiti nel tubo de'fori a conosciute distanze, e chiusi poi con chiavi a leva: fatto parlare prima a fori chiusi, e poi di nuovo quando sono aperti, se il suono rimane inalterato, si giudica che esiste in quei punti un ventre in ambo i casi.

Influenza delle dimensioni e della natura de'tubi sonori. Che sia veramente l'aria contenuta nel tubo il corpo sonoro, e non il tubo stesso o la materia di che è composto, si rende evidente col far parlare de'tubi delle stesse dimensioni ma di sostanze diverse, metallo, legno, cristallo, e se piace anche di varia spessezza; il suono serberà la medesima acutezza, e solamente la voce o la tempra ne sarà modificata. Non sarà più così ove si cambiino le dimensioni del tubo, ad esempio; il numero delle vibrazioni crescerà nella ragione inversa della lunghezza. S'intende bene che in tutte queste esperienze deve rimaner costante la corrente esterna, cagione delle vibrazioni.

Ciò che abbiamo detto della niuna influenza della spessezza va inteso al di là di certi limiti: poichè se la spessezza è minima, al suo crescere il suono si rende più acuto per gradi, ma con variazioni tanto più lente quanto più quella si aumenta fino ad un termine, oltre il quale il suono non soffre più alterazione. Infatti se costruiscansi de'tubi d'un piede di lunghezza e nove linee di diametro con fogli di carta sovrapposti e incollati, il cui numero da 2 vada fino a 12, si à una serie di suoni, che si alzano da sol_3 a

si$_3$; ma se bagnasi la parete del tubo il suono scenderà anche più di una ottava. Tutto ciò avviene perchè vibra anche il tubo quando la sua parete è sottile: basta toccarlo per assicurarsene; si sente fremere sotto la mano. Adunque secondo che esso è atto a oscillare più o men rapidamente dell'aria interna, il suono di questa ne vien modificato.

Eccezione alle leggi di Bernoulli. Le leggi effettive delle vibrazioni de'tubi sonori tanto più si avvicinano alla verità della teoria di Bernoulli quanto maggiore è la loro lunghezza riguardo al diametro, poichè in egual ragione si attenua l'errore di aver trascurato le alterazioni prodotte dalla corrente all'orifizio. Savart à riconosciuto che se i tubi sono corti e vibrano a libero orifizio, debbono avere tanto minore lunghezza per dare il medesimo suono, quanto ne è maggiore la sezione. Ad esempio perchè un tubo aperto dia il *la*$_3$, le cui onde aeree son lunghe millimetri 390, fa d' uopo che lunghezza e diametro variino come segue :

lunghezza	383,	352,	325,	298,	286,	203	millimetri.
diametro	34,	83,	122,	162,	217,	282	

Velocità del suono attraverso gli aeriformi determinata per mezzo de'tubi sonori. Se un medesimo tubo si faccia parlare con differenti aeriformi, comunque sieno identiche le altre condizioni, non rimane il suono ugualmente acuto : ad esempio con l'idrogeno si otterrebbe un suono di acutezza estrema. Ciò non ostante Dulong à scoverto, che la posizione de'ventri e de'nodi nel tubo rimane costante. Di ciò non altra può essere la cagione fuorchè la diversa velocità di propagazione del suono attraverso i varî aeriformi, donde a buon dritto si deduce il metodo per determinarla. Esso consiste nel far parlare uno stesso tubo con diversi aeriformi, e nello scovrire poi per mezzo della sirena il numero di vibrazioni fatte in 1'' e corrispondenti ai suoni ottenuti. Questo numero di vibrazioni sarà proporzionale alla velocità di propagazione del suono ne'singoli aeriformi; laonde conoscendo la velocità per l'aria, potrà determinarsi quella per tutti gli altri. A questo modo son ricavati i numeri che riferimmo di sopra (179).

195. Strumenti da fiato. Van distinti in due categorie, che ànno i nomi di *strumenti a bocca* e di *strumenti a linguetta;* a tali due generi possono ridursi tutti gli altri.

1. *Strumenti a bocca.* In questi tutte le parti sono fisse, e la sola colonna d'aria costituisce il corpo sonoro. Si fanno di grande lun-

ghezza relativamente alle altre dimensioni. La imboccatura può avere forma diversa; le fig. 175 e 176 ne presentano due, le quali valgono il medesimo in quanto all'effetto: la prima è d'un flauto a bocca, la seconda dicesi *a canna d'organo*, perchè è una delle maniere di canne usate nell'organo. In entrambe la corrente aeriforme penetra per l'apertura i che chiamasi *luce*, e sfugge per la *bocca bo*; il *labbro* superiore di questa è tagliato a sbieco: contr'esso l'aria si rompe, e sia per questa maniera d'incontro, sia per le pulsazioni che avvengono presso l' orifizio nello scolo degli aeriformi, come in quello de' liquidi, l' aria del tubo vibra e dà suono. Talvolta a questi tubi si unisce un piede P (fig. 176), e serve loro di sostegno allorchè si aggiusta sulla cassa, donde vien la corrente. L'acutezza del suono è varia non solo a norma della lunghezza del tubo e della velocità e natura del gas, ma pure dipendentemente dalle dimensioni della luce, e dalla natura e forma delle labbra.

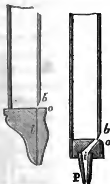


Fig. 175. Fig. 176.

Quella maniera peculiare di dar suono, che ne'tubi descritti dipende dalla forma di loro imboccatura, s'imita artificiosamente con le labbra fischiando con una chiave forata, o sonando la *fistola di Pane* a più canne, o anche il flauto traverso; cioè si soffia nell'apertura del tubo in guisa che una sottile lamina d'aria venga con rapidità a rompersi contro il taglio de'suoi orli.

2. *Strumenti a linguetta.* La seconda specie di strumenti porta tal nome perchè sono provveduti all'imboccatura d'un apparecchio speciale (detto *anche* da'francesi); la sua principale parte è una laminetta metallica chiamata *linguetta*, ch'è applicata all' orlo d'un canaletto, pel quale passa la corrente aerea: mentre questa determina a vibrar la colonna interna, obbliga pure la linguetta ad alzarsi ed abbassarsi alternamente, ossia ad oscillare anch'essa. Le fig. 177, 178 e 179 rappresentano un tubo sonoro di questa specie, e le sue parti. Nella prima vedesi in complesso il tubo poggiato sulla soneria a vento Q per riceverne l'aria, il quale termina in alto colla piramide vuota H per rinforzarne il suono; e vi si osserva la linguetta attraverso la parete di cristallo E. Nella seconda l'apparecchio parlante è tratto fuori del tubo MN: il cui piede P è per fis-

sarlo sulla cassa a vento. Quello poi è formato d' un tubo chiuso per ogni verso fuorchè alla estremità superiore *o*: in una delle pareti *cc* v' è una fenditura longitudinale, su cui è applicata la linguetta che la chiude quasi interamente: essa è fissa alla estremità superiore, libera ad oscillare per l'altro estremo: la corrente aerea

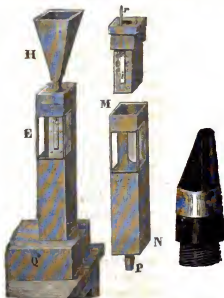


Fig. 177. Fig. 178. Fig. 179.

la spinge in dentro dell' apertura, e la sua elasticità la restituisce in fuori di là della posizione di equilibrio, e così alternamente. Scende dall' alto il filo metallico *r* denominato *rosetta*, e vale per diminuire a piacere la porzione vibrante della linguetta perchè renda più acuto il suono.

Cotesta specie di linguetta dicesi *libera*: rende suono più dolce, e non acquista coll'uso inflessioni o ripiegature che la riducano difettosa. Per converso si chiama *battente* quella che oscillando percuote leggermente l'orlo dell'apertura, come accade nel clarinetto scoverto in sul principio dello scorso secolo da Giovanni Denner a Norimberga. Se ne vede la imboccatura nella fig. 179.

Sono pure evidentemente strumenti a linguetta gli organetti con mantice che si suonano a mano, la cenamella, il fagotto inventato da Afranio di Pavia nel 1539, l'oboe, il serpentone, le varie maniere di corno, bassetto, basso, e l'inglese, e simili.

Agli strumenti a linguetta riduconsi ugualmente il corno comune detto da caccia, la tromba, il cui suono è d'una ottava più alto del corno, il trombone o tromba duttile, e somiglianti, ne'quali le labbra del suonatore fanno le veci di linguetta membraniforme.

In generale in tutti questi strumenti o che il tubo sia dritto o ripiegato in varie fogge sarà il medesimo: si usa curvarlo per rendere lo strumento più maneggevole. Si cavano da uno stesso tubo varî suoni o spingendo l'aria con diversa intensità, o con aprire e chiudere i fori che sono scolpiti a determinate distanze per la sua lunghezza: talvolta pure si allunga o si accorcia il tubo sonoro, il quale è formato di più parti scorrenti le une nelle altre come i tubi d'un cannocchiale. Il *padiglione*, con cui di frequente si termina lo strumento, ossia la estremità slargata a forma di cono, modifica la tempra ed accresce la intensità del suono : si adopera anche per introdurvi la mano con arte, con che si passa per gradi da un tubo aperto a un tubo chiuso per averne i suoni più gravi.

Allorchè la linguetta è unita ad un tubo sonoro, il suono è più grave di quello si avrebbe dalla solo linguetta.

ORGANI DELL' UDITO E DELLA VOCE (*)

196. **Organo dell' udito.** Ad avere la sensazione del suono è destinato l'*orecchio*, il quale nell'uomo dividesi in orecchio *esterno*, *medio*, e *interno*. L'orecchio *esterno* componesi del *padiglione* e del *condotto auricolare*, ch'è un canale lungo tre centimetri circa. L'orecchio *medio* , detto pure *tamburo o cassa del timpano*, è una cavità, di cui la parte esterna è munita di una membrana che segue e chiude il canale auricolare; la parete interna presenta due fori, la *finestra ovale* in alto, la *finestra rotonda* in basso chiuse entrambe da corrispondenti membrane. Questa cavità comunica con la dietrobocca per mezzo della *tromba di Eustachio*, ch'è un canale

(*) Comecchè la descrizione degli organi de'sensi si appartenga all'anatomia, e lo studio di loro funzioni alla fisiologia, nondimeno male se ne inferirebbe uscire del suo campo chi dentro certi limiti ne parli in un trattato di fisica. E per fermo non altro che fenomeni fisici avvengono negli organi dell'udito, della voce, e della visione, finchè non entra in azione il sistema nervoso, e son dessi che eccitano i nervi a operare la percezione : conviene dunque che il fisico propongasi questi fatti ad argomento di sue ricerche, e là poi si arresti dove l'azione nervosa incomincia.

rettilineo ad imbuto, strettissimo verso l'orecchio, slargato alla sua estremità gutturale. Nella cassa del timpano è sospesa la catena de'quattro ossicini, i quali per la loro forma speciale son detti *martello*, *incudine*, *osso lenticolare* e *staffa*: questi mercè legamenti e muscoli sono articolati tra loro,e la catena può distendersi o raccorciarsi. Il martello tocca la membrana del timpano, esso e l'incudine sono attaccati alla parete superiore della cassa, la staffa è solidamente fissata nella finestra ovale. Finalmente l'orecchio *interno* o *laberinto* in ragione di sua struttura distinguesi in *osseo e membranoso*. Il laberinto osseo si compone delle seguenti parti:1°. del *vestibolo*, che ne è la porzione più esterna, di forma irregolarmente ovoide, con grandi e piccole aperture, che stabiliscono comunicazione con la cassa del timpano, e col resto dell'orecchio interno: 2°. de'tre *canali semicircolari*, due verticali, uno orizzontale:3°. della *lumaca*, canale che compie due rivolgimenti e mezzo a spira. Il laberinto *membranoso* ritrovasi solamente nel vestibolo e ne'canali semicircolari, non già nella lumaca.

Meccanica dell'udito.Non riesce del pari agevole definire adequatamente quale sia l'uffizio delle singole parti di quest'organo.In primo luogo è indubitato che l'orecchio esterno è l'apparato *collettore* del suono: poichè la forma stessa del padiglione accenna bene che vale a raccorre le onde sonore per immetterle nel canale auricolare; e però gli animali, che l'ànno mobile, il dirigono verso quella parte donde ricevono il suono, in dietro se fuggono, in avanti se inseguono. Rinforza pure il suono con le sue vibrazioni.

È certo altresì che l'orecchio interno è propriamente l'apparato *percettore*; mentre nel liquido in esso contenuto si spandono gli ultimi fiocchetti del nervo acustico, il quale si diparte dall'encefalo e traversa il canale osseo detto *condotto auricolare interno*.

Sembra finalmente che l'orecchio medio sia l'apparato *moderatore* del suono. Infatti le onde sonore pria che giungano al nervo acustico determinano il timpano e le altre parti dell'orecchio medio a vibrare all'unisono del corpo sonoro esterno: la catena degli ossicini, oltre al vibrare anch'essa e trasmettere così le vibrazioni al laberinto, siccome può variare di lunghezza, sembra destinata ad accrescere o diminuire la tensione delle membrane del timpano e della finestra ovale, con che riescono adatte a vibrare all'unisono de'suoni più acuti e de'più gravi. Per la tromba di Eustachio comunicano e si equilibrano l'aria interna del timpano e

la esterna: una differenza notevole di elasticità tra esse renderebbe concave le membrane in dentro o in fuori, e soverchiamente tese: donde conseguirebbe la sordità o assoluta o parziale.

È bene assicurato che non tutte le parti dell'orecchio umano sono richieste assolutamente alla percezione del suono: questa rimane illesa comunque si asporti il padiglione, e si laceri pure la membrana del timpano: s'indebolisce ma non distruggesi se degli ossicini si perda il martello, l'incudine, e l'osso lenticolare; ma tolta la staffa ne verrebbe la sordità, poichè di necessità si lacererebbe la membrana della finestra ovale, cui essa aderisce, e quindi disperdendosi il liquido del vestibolo resterebbe a secco il nervo acustico. Sembra ciò non pertanto che siffatta complicazione di organo valga a perfezionarlo, cioè a renderlo adatto a percepire nel suono tutte le sue differenze, l'acutezza, la direzione, la intensità, la tempra. Nella scala degli animali discostandoci dall'uomo, e scendendo per gradi ai meno perfetti, troviamo sparire successivamente le varie parti dell'orecchio. Negli uccelli manca il padiglione, ne' rettili il padiglione e'l canale auricolare: in quasi tutt'i pesci non v'è nè l'orecchio esterno nè il medio: ne' molluschi dell'istesso orecchio interno non rimane che una vescichetta da ambo i lati del cervello piena di liquido: e però l'udito in essi sembra ridotto alla sola facoltà di percepire un fragore.

Limiti de' suoni percettibili. Aumentando per gradi la velocità della ruota dentata di Savart (176,3) si era osservato, che non si cominciava a udire un suono continuo se non quando venivan prodotte 32 vibrazioni al secondo: quindi si opinò essere questo il limite infimo, o il suono più grave che l'orecchio potesse percepire. Similmente accresciuta soprammodo la rapidità degli urti, il suono diventa insensibile; ma le opinioni furono discordanti intorno al limite de'suoni acuti; e Biot fu di parere che ciò accadesse a 8192 vibrazioni, Cladni a 12000, Wollaston tra 18000 e 21000.

Siamo però debitori a Savart di aver conosciuto che non esistono veramente limiti assoluti di percettibilità pe'suoni così gravi che acuti. Questi osservò che un suono estremamente acuto è sempre cagionato dalle vibrazioni d'un corpo di dimensioni piccolissime; e però ugualmente tenuissima ne è la intensità fino a rendersi impercettibile. Egli invece nel suo ordigno impiegò successivamente tre ruote dentate del diametro di 24, 48, e 82 centimetri con 360 denti la prima, 400 la seconda, e 720 la terza; ed ebbe per la prima un

limite di suono sensibile con presso a 8000 vibrazioni al secondo, 24000 a 30000 per l'altra, e 48000 per la terza. La ragione del fatto è riposta in ciò che con ruota maggiore si ottiene suono più intenso. Laonde se potesse crescere anche oltre la intensità, si allontanerebbe del pari il limite acuto di percettibilità.

In quanto al limite de'suoni gravi Savart imaginò che una spranga di ferro della lunghezza di due piedi rotando intorno a un asse impiantato normalmente al suo mezzo, passasse tra due lamine sottili di legno site a' due lati e discoste da essa due millimetri. Potendo regolare il moto a piacere cominciò ad aver suono quando la spranga forniva 8 rivolgimenti al 1", il che equivale a 16 vibrazioni. Dandole maggiore lunghezza sarebbe stato anche più basso questo limite inferiore.

197. **Organo della voce.** L'organo della voce nell' uomo o la *laringe* è sita nella parte anteriore e superiore del collo. È la estremità più alta d' un canale cilindrico, di cui la parte inferiore formata di anelli cartilaginei flessibili à nome di *trachea arteria*: questa si biforca nei *bronchi*, e per mezzo di mille diramazioni comunica coi polmoni. Che sia veramente questo l'apparato vocale, vien dimostrato con ciò, che una ferita nella trachea arteria dando uscita all' aria espirata da' polmoni prima che giunga alla laringe rende impossibile la voce. L' aria per l' ordinario traversa liberamente la laringe senza dar suono: per ottenerlo si richieggono contrazioni nei suoi muscoli, come venne scoperto da Galieno; poichè con recidere in animali vivi i nervi, che vanno a'muscoli della laringe, si toglie insieme a questi la contrattilità e si perde la voce.

La laringe si compone di quattro cartilagini: la prima chiamasi *cricoide* (*) o annulare; la seconda *tiroide* (**) o scutiforme, la quale costituisce quella prominenza volgarmente detta il *pomo di Adamo;* finalmente le altre due *aritenoidi* (***). La membrana mucosa che internamente la veste si piega in due falde laterali, che sono dette le *corde vocali* o i *legamenti inferiori* della glottide: queste si saldano posteriormente alle cartilagini aritenoidi: i *legamenti superiori* sono altre due falde collocate sopra le corde vocali. Si dicono *ventricoli* della laringe le due cavernette laterali che separano i legamenti superiori dagl'inferiori, e *glottide* tutto lo spazio com-

(*) Dalle voci κρικος anello, ειδος forma.

(**) Θυρεὸς scudo. (***) Α'ρυτ'ηνα imbuto.

preso tra queste quattro labbra. Da ultimo all'orlo superiore della laringe sotto la radice della lingua è la *epiglottide*, cioè una linguetta fibro-cartilaginea, mobile, elastica, disposta verticalmente e atta a chiudere la glottide abbassandosi nell'atto di deglutire.

Meccanica della voce. Il laringe non è un semplice strumento da fiato *a bocca*, poichè con le sue dimensioni non può conciliarsi la immensa varietà de' suoni della voce umana. Un'altra opinione più antica il considera quale uno strumento a linguetta: le corde vocali ne farebbero le veci. Weber e Müller àn confermato con ricerche sperimentali questa teoria; e il secondo di essi è giunto a comporre con linguette di caoutchouc laringi artificiali, danti suoni analoghi alla voce umana. Savart poi rassomiglia l'organo vocale a quel piccolo strumento usato da'cacciatori per imitare il canto degli uccelli, detto il *richiamo*; i cui suoni, se con mantice si può disporre a piacere di una corrente aerea di graduata intensità, si estendono fino a due ottave. Questi sono prodotti dal succedersi con varia celerità le rarefazioni e condensazioni dell'aria nella cavità dell'istrumento ispirando o soffiando. È poi evidente la somiglianza di forme colla laringe: i ventricoli di questa rappresentano la cavità del tamburo, e i fori opposti sono le fenditure che restano tra le labbra della glottide.

La forza o il volume della voce dipende così dalla intensità della corrente aerea espulsa da'polmoni, come dalle dimensioni e dalla diversa attitudine a vibrare delle parti che compongono la laringe. Essa infatti è più o meno sviluppata secondo gl' individui, la età, il sesso: è più voluminosa nell'uomo che nella donna, più nell'adulto che nel fanciullo: all'epoca della pubertà cresce considerevolmente di mole; e maggiore corpo acquista la voce. In alcuni mammiferi che emettono strida assordanti, come in quelle scimmie americane (*) chiamate *urlanti*, la glottide comunica con grandi cellule dentro cui l'aria echeggia e rinforza stranamente il suono.

In fine tutte le cavità della bocca e delle narici, e la varia tensione del velo palatino e delle altre parti della retrobocca modificano la tempra della voce; la quale è risuonante se tiensi bene aperta la bocca, è sorda stridente e disaggradevole se è chiuso il passaggio per le narici, e allora dicesi *voce del naso* ossia il contrario di quel che è veramente.

(*) Aluatta (mycetes o stentor).

LIBRO SESTO

CALORE

TERMOMETRI A LIQUIDO A SOLIDO AD AERIFORME

198. **Nozione generale del calore; temperatura.** Il *calore* è quell'agente che in antagonismo con la forza di coesione produce ne'corpi il triplice stato fisico, e sul nostro tatto le sensazioni opposte di caldo e di freddo. Comunque s'imagini cresciuta al più alto grado la sua attività sopra un corpo, il peso di qnesto non cresce: perciò il dissero *fluido imponderabile*, a somiglianza dell'elettrico, del magnetismo, della luce.

I varî corpi comunque nelle stesse condizioni non ànno la stessa qnantità di calore, che in generale è differente a norma della loro natura. Allorchè in un medesimo sistema ciascuno ne possiede la dose che gli compete, si dice che tntti ànno *uguale temperatura.* Se in uno quella quantità cresce, o diminuisce, si dice che la sua temperatura *si alza* o si *abbassa.*

Ipotesi sulla natura del calore. Due ipotesi imaginarono i fisici per rendere ragione de'fenomeni prodotti dal calore. Con la prima supponesi che il calore sia un fluido eminentemente elastico capace di passare da un corpo all'altro: le sne molecole si respingono scambievolmente: è più caldo quel corpo che ne contiene copia maggiore nelle medesime circostanze. La seconda ripone il calore in un moto rapido di vibrazione, che dalle molecole de' corpi si trasmette per mezzo d'un fluido oltremodo elastico sparso per tutto, e denominato *etere:* la maggiore intensità del calore d'un corpo sarebbe nella ragione composta della maggiore ampiezza e rapidità delle vibrazioni delle sue molecole. Ambe le ipotesi sono state sostenute con alacrità: la prima che costituisce il *sistema delle emissioni* sembra più agevole a intendersi, perchè il linguaggio che in essa si adotta ravvicina i fenomeni del calore a quelli della materia ponderabile: la seconda però, cioè il *sistema delle*

vibrazioni, è la sola che si presti alla spiegazione de' fatti, di cui recentemente la scienza si è arricchita ne'suoi progressi.

Sensazioni non atte alla misura del calore. Il dimostrano le ragioni seguenti.

1. Le sensazioni di caldo o di freddo niente ànno di assoluto e non sono che relative: cioè per un medesimo grado sono differenti non pure da un individuo a un altro, ma financo nel medesimo individuo, secondo che è variamente disposto, e soprattutto secondo che son diverse le condizioni di temperatura, a cui fu esposto antecedentemente. Infatti delle due mani l' una stringa del ghiaccio e l' altra si scaldi per un tempo presso al fuoco, e poi entrambe immergansi in una stessa acqua tepida: la prima riceverà sensazione di caldo, la seconda di freddo. Inoltre è ben noto che scendendo in un sotterraneo nella state si prova impressione di freddo, di caldo se nel verno: e che l'acqua di recente attinta in quella stagione sembra fredda, calda in questa: comecchè la temperatura colaggiù sia costante o varî ben poco dall'una stagione all'altra. Da ultimo narra Ulloa, che se di due viaggiatori scende l'uno dalle vette del Chimborazzo, e l'altro vien su dal porto di Guayaquil, allorchè entrambi s'incontrano a Guadiana, questi si stringe forte nel mantello assiderato da penetrante freddo, e quegli per converso si sveste oppresso da calore soffocante. Adunque si fa chiaro che la temperatura del nostro corpo è il limite delle impressioni di caldo e di freddo che riceviamo da'corpi esterni: li diciamo caldi se cedono calore al nostro corpo, freddi se ce'l sottraggono.

2. Sono dipendenti dalla varia natura de'corpi, comecchè lo stato termico di questi sia uniforme. Se tocchi con una mano un legno con l'altra un ferro esposti entrambi per qualche ora al sole estivo, avrai dal secondo molto più viva impressione di caldo che dal primo, sebbene sia la stessa la temperatura de'due corpi: e sarebbe del pari notevolissima la differenza delle sensazioni di freddo, se fossero toccate quelle due sostanze dopo averle lasciate all'aria libera una notte d'inverno. Cotesta diversità è prodotta dalla *facoltà conduttrice* pel calore, che è grande ne'metalli, scarsa nelle sostanze organiche. Influisce del pari la diversa *capacità termica*; delle quali due proprietà de'corpi sarà detto poi.

Adunque non potendo ottenere una misura dagli effetti fisiologici del calore, fa d'uopo ricorrere ai fisici: tra questi si è scelta

la dilatazione, come più generale e dentro certi limiti uniforme. Ogni corpo, sia qualunque il suo stato fisico, per aggiunzione di calore cresce di mole, e per sottrazione diminuisce; e però si può costruire un *termometro*, che vuol dire strumento misuratore del calore, con corpo solido, liquido, o aeriforme. Il termometro a liquido si preferisce negli usi ordinarî, poichè essendo ne'liquidi attemperata la forza termica con la coesione, le dilatazioni non sono così tenui come quelle de'solidi, nè così eccessive come quelle degli aeriformi.

199. **Termometri a liquido.** Il termometro a liquido consiste in un tubo di diametro capillare, il quale finisce con picciol serbatoio sferico o cilindrico, che dicesi *bulbo*: il bulbo e porzione del tubo sono pieni del liquido termometrico, il quale suole essere mercurio, o alcole: inoltre è vuoto d'aria, superiormente chiuso e graduato (*).

(*) *Storia del termometro.* Comunque sieno diverse le opinioni in quanto alla invenzione del termometro, e se ne attribuisca la gloria o al medico veneziano Santorio, o all'olandese Drebbel medico di Alkmaar, o al napoletano Sebastiano Bartoli da Montelia, è indubitato però che Galileo innanzi del 1597 abbia costruito il primo termometro. Consisteva in un cannello di vetro con una palla soffiatavi in cima: mercè un leggiero riscaldamento cacciatone alquanto d'aria per la sua estremità aperta, veniva questa immersa in vaschetta con entrovi acqua. Durante il raffreddamento ascendeva nel tubo una colonna di liquido, la quale ne'cambiamenti di temperatura alternamente si alzava e si abbassava. Tale cangiamento però di altezza evidentemente era funzione delle variazioni e di temperatura e di pressione atmosferica: laonde siffatto strumento era insieme termometro ad aria e barometro, o altrimenti nè l'uno nè l'altro. Il termometro di Bayle fu simile al precedente sol che la pallina fu collocata in basso, e con ciò poteva essere immerso ne'liquidi e misurarne la temperatura.

Dopo la scoverta di Torricelli nel 1643 gli accademici del Cimento usarono il tubo chiuso riempiendo il bulbo d'acqua, e quindi anche avvedutisi che questa nel gelare frangeva il termometro le sostituirono l'acquarzente. Carlo Renaldini professore della Università di Bologna il primo nel 1693 propose una graduazione, e scelse a termini invariabili il ghiaccio fondentesi, e l'acqua bollente. Halley e poi Amontons fecero altrettanto. Newton nel 1701 ritenendo gli stessi punti fissi sostituì all'alcole l'olio di lino.

Si deve a Fahrenheit fabbricante di strumenti l'uso del mercurio nel 1714: ma egli scelse a principio della scala il freddo più intenso osservato a Danzica nel 1709, ed a termine il punto della ebollizione del mercurio: la divi-

Avvertenze relative alla sua costruzione. Perchè il termometro risponda bene allo scopo conviene por mente alla *scelta del tubo*, al *modo di riempirlo*, e alla sua *graduazione*.

1.° *Scelta del tubo.* Bisognerebbe veramente che il tubo fosse calibrato affinchè gradi di eguale grandezza rispondessero ad uguali dilatazioni, ed abbiamo indicato altrove il metodo per assicurarsene (136). Ma perchè spingendo innanzi l'indice di mercurio si scopre che cotesta condizione difficilmente si compie; possono segnarsi gli spazietti di eguale capacità, e saranno questi i gradi comunque non abbiano uguale lunghezza. Inoltre senza il *bulbo* sarebbero appena sensibili le sole dilatazioni corrispondenti a grandi variazioni di temperatura; adunque per formarlo si fonde con lampada a spirito una estremità del tubo e si soffia convenientemente dall'altra estremità. I gradi riusciranno tanto più lunghi quanto è maggiore la relazione della capacità del bulbo a quella d'una data lunghezza del tubo: ma dall'altra parte le indicazioni finali saranno di tanto più lente quanto è maggiore la massa del liquido termometrico.

2.° *Riempimento.* La estremità aperta del tubo si termina ad imbuto, e versato in questo il mercurio si riscalda il bulbo : con ciò l'aria che vi si contiene si dilata, e gran parte ne esce gorgogliando attraverso il liquido: durante poi il raffreddamento la pressione dell'aria esterna obbliga il mercurio a discendere nel bulbo. Si ripete questa operazione finchè il bulbo e porzione del tubo ne restino pieni. Si riscaldi allora il bulbo un' ultima volta, e quando il mercurio dilatandosi perviene alla sommità del tubo, si fonde questa con lampada a spirito e si chiude. Così facendo si scaccia tutta l'aria, la quale altrimenti si opporrebbe alla libera dilatazio-

se in 600 parti; la fusione del ghiaccio corrisponde a 32, la ebollizione dell'acqua a 212.

Nel 1730 Réaumur ideò il termometro ottantigrado ben diverso da quello, cui si dà il suo nome. Ei trascelse per liquido termometrico una mescolanza di quattro parti di spirito di vino, e una d'acqua; e fu ragione di questo suo operare l'avere osservato, che se il volume di tale miscela alla temperatura della neve in fusione vien rappresentato da 1000, diviene 1080 quando è prossimo a bollire, cioè al massimo di dilatazione.

Celsius professore ad Upsal nel 1745 propose la scala centigrada. Finalmente nel 1762 Deluc avvertì doversi tener conto della pressione atmosferica nel determinare la temperatura dell'acqua bollente.

ne della colonna termometrica: pure non è gran male se alquanto ne rimane, anzi alcuni ve'l lasciano di proposito per impedire che la colonna agevolmente si divida.

3.° *Graduazione*. Per ottenere che le indicazioni termometriche sieno atte a confronto, ossia perchè diversi termometri segnino egualmente lo stesso grado di temperatura, è necessaria la *graduazione*. Questa consiste nello scegliere due termini fissi, cioè due punti di temperatura invariabile: vien definita poi la scala con dividere lo spazio che resta fra essi in egual numero di gradi.

Il primo punto fisso è la temperatura della *fusione del ghiaccio*, essendo noto che dal momento in cui per calore aggiunto una massa di ghiaccio incomincia a fondersi, la temperatura rimane stazionaria finchè tutto non diventi liquido. Per determinarlo immergasi il tubo termometrico intero nel ghiaccio contenuto in un vase avente un foro nel basso, pel quale se 'n coli l'acqua di fusione: il livello del mercurio nel tubo scende prima con rapidità, poi lentamente, e in ultimo si arresta: colà è il punto cercato.

Il secondo punto fisso è quello della *ebollizione dell'acqua*; poichè, a pressione costante, un liquido più non si scalda dal momento in cui à cominciato a bollire, comecchè esposto a vivo fuoco. S'immerge dunque il termometro nell'acqua stillata allorchè la pressione atmosferica è di 760^{mm} e si riscaldi sino all'ebollizione; o meglio s'immerge nel vapore che immediatamente s'innalza dall'acqua bollente, il quale serba la stessa temperatura sebbene si usi acqua non distillata, e sia qualunque la materia del vase.

Il primo di tali punti si denota con 0°, l' altro con 100°, e lo spazio fra essi detto *passo termometrico* dividesi in cento parti uguali che diconsi *gradi*. Con ciò vien formata la scala, la quale anche si protrae d'alquanti gradi e sopra 100° e sotto 0°. Nell'uso i gradi sotto 0° vengono contradistinti col segno — preposto al loro numero. Cotesta scala è segnata su laminetta di legno o di metallo; o pure s'include in altro cannello di cristallo congiunto a quello; o finalmente viene scolpita senz'altro sul tubo termometrico con diamante o con acido fluoridrico: ne'due ultimi casi si à un *termometro d'immersione*, perchè può immergersi nella più parte de'liquidi senza alterazione.

Quante volte la pressione atmosferica fosse diversa da 760^{mm} converrebbe nel graduare il termometro fare uso della legge di Wollaston. Questi scoperse che la temperatura della ebollizione

dell'acqua s'innalza o si abbassa d'un grado per ogni 27 millimetri di cresciuta o diminuita altezza barometrica. E però se nell'atto di graduare il termometro la pressione dell'atmosfera è, per esempio, 796^{mm} ossia 36 al di sopra de'760, convien segnare 101 1/3 invece di 100° al punto della ebollizione dell'acqua.

Diverse maniere di scale termometriche. La scala descritta dicesi *centigrada*, ed è la più adoperata; ma se ne usano pure due altre. Nella scala di Réaumur i punti fissi sono gli stessi, ma il passo termometrico dividesi in 80 parti. In quella di Fahrenheit i punti fissi sono l'acqua bollente, e 'l freddo che si à mescendo parti uguali di neve, e cloruro d'ammonio: questo si denota con 0°, quello con 212°: lo zero dell'ottantigrado e del centigrado corrisponde a 32° di Fahrenheit, e quindi il passo termometrico dei due primi contiene 180° del terzo.

Riesce agevolissimo il tradurre la indicazione di uno di questi termometri in quella degli altri due. Infatti poichè una stessa lunghezza è divisa in 80, 100, o 180 parti, i gradi saranno nella ragione di 8 a 10 a 18, ossia di 4 a 5 a 9: laonde una semplice proporzione risolverà il problema; ma prima conviene sottrarre 32 dal numero di gradi del termometro Fahrenheit. I gradi centigradi si designano con la lettera C, e noi li useremo esclusivamente: quei di Réaumur con R, quei di Fahrenheit con F.

Spostamento dello zero. Scoperse Bellani che se per verificare lo zero immergesi nella neve in atto di sciogliersi un termometro, il quale fu graduato poco dopo soffiata la palla, lo zero non più risponde alla posizione primitiva, ma ritrovasi alquanto più in alto fino a uno o due gradi. Questo spostamento è lentissimo, poichè si protrae talvolta a due o tre anni; e sembra doversi attribuire al tardo restringersi del vetro dopo la fusione, donde la capacità del bulbo diminuisce; nè v'à influenza la pressione atmosferica, osservandosi ugualmente sia chiuso il tubo o aperto.

Paragone de' termometri a mercurio e alcole. Se per liquido termometrico vuole impiegarsi l'alcole, il quale bolle a 79°, non può farsi la graduazione con introdurre il termometro nel vapor d'acqua a 100°; ma determinato lo zero si deve immergerlo in uno stesso bagno con un termometro modello a mercurio; quivi si segnano le temperature 25° o 35°, e poi se ne divide la scala.

Nell'uso la scelta tra il termometro a mercurio e quello ad alcole vien regolata dalle osservazioni seguenti.

1. Il mercurio gela a — 39°, bolle a 360°; per converso l'alcole rimane liquido a temperature bassissime, ma bolle a 79°. Adunque per la misura delle basse temperature si preferirà il termometro ad alcole, per le alte quello a mercurio.

2. Il mercurio è assai miglior conduttore del calore che l'alcole; e quindi le sue indicazioni più pronte, e si preferisce per la misura de'cambiamenti di breve durata.

3. Il mercurio perchè più denso si dilata meno che l'alcole; e però ad uguale capacità del bulbo e del tubo un grado del termometro ad alcole sarà più lungo d'uno a mercurio. Per che si sceglie il primo quando si tratta di piccole alterazioni di temperatura.

200. **Termometri a massimo e minimo.** Si à sovente bisogno di determinare il massimo o il minimo di temperatura avvenuto in luoghi inaccessibili, o comunque altrimenti quando l'osservatore non fu presente: ecco gl'istrumenti da ciò.

1. *Termometri coniugati di John Rutherford.* Si dà questo nome ai due termometri della fig. 180 insieme riuniti, e disposti orizzontalmente.

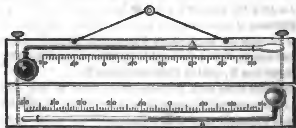


Fig. 180.

Il primo d'essi, il superiore, è a mercurio: nell'interno del tubo v'è un indice di acciaio A, il quale in preparar l'esperienza deve esser trasferito a contatto del mercurio o inclinando il tubo, o strisciando all'esterno il polo d'una calamita. Il mercurio nel dilatarsi, allorchè cresce la temperatura, lo spinge innanzi, e nel restringersi il lascia colà. Ad esempio l'indice nella figura accenna che il massimo di temperatura è stato 29°.

L'inferiore, il termometro a minimo, è ad alcole: nella colonna liquida v'è un indice di smalto B di minor diametro che il tubo, il quale allorchè l'alcole si contrae vien trasportato con esso per azione di capillarità, e per converso vien lasciato quando il liquido si dilata, potendo passar liberamente tra esso e la parete del tubo. La figura indicherebbe un minimo di quasi — 8°.

Conviene meglio che i due termometri non sieno congiunti sulla medesima scala, per usare nelle occorrenze quel solo che fa bisogno, senza esporre l'altro a temperature che sieno di là de' limiti convenienti.

2. *Termometro a massimo di Negretti e Zambra.* Talvolta nel termometro a massimo, che abbiam descritto, l'indice si arresta insinuandosi il mercurio tra esso e la parete del tubo. Il termometro a massimo di Negretti e Zambra va esente da siffatto inconveniente. Nella colonna di mercurio presso al serbatoio v'è un indice di vetro di piccolissimo diametro, e precisamente colà piegasi leggermente con lampada a spirito e tubo ed indice: il tubo vien collocato orizzontalmente, e poco più basso rimane il bulbo. Con quell'artifizio l'indice non più è scorrevole; e allorchè per cresciuto calore il mercurio si dilata, passa tra l'indice e la parete del tubo; ma più non ritorna nel serbatoio quando si contrae. La lunghezza dunque di questa colonna indica il massimo calore a cui fu esposto l'istrumento. Si prepara una seconda esperienza tenendo verticale il tubo, giacchè pel proprio peso il mercurio ritorna dove prima.

3. *Termometrografo.* Giacomo Six di Colchester ideò il termometrografo, che fu poi dal Bellani perfezionato. È un cannello di vetro curvato ad U, del quale un de'rami ripiegandosi in giù comunica con un serbatoio, l'altro si solleva in alto e finisce con piccolo rigonfiamento: porzione del cannello contiene mercurio, il serbatoio è pieno d'alcole sino a toccare il mercurio: sulla superficie di questo da un lato e dall'altro poggiano due cilindretti di acciaio, intorno ai quali è avvolto un capello. Ciò posto è chiaro, che nel dilatarsi e nel restringersi il liquido del serbatoio, la pressione sul mercurio farà sollevare or l'una or l'altra delle sue due colonne, e insiem con essa l'indice che le sovrasta; questo però trattenuto al suo posto per lo sfregamento operato dalla elasticità del capello non discende quando la corrispondente colonna di mercurio si abbassa. Adunque l'indice più lontano dal serbatoio darà il massimo di temperatura, il più vicino designerà il minimo. Al capello che presto si altera è ben fatto sostituire una esilissima molletta di vetro.

4. *Termometri a versamento.* Walferdin à imaginato due termometri di questo nome, l'uno a massimo, l'altro a minimo.

Il primo è un termometro ordinario a mercurio, tranne che la

estremità superiore della colonna à un picciol serbatoio da un lato, pel quale *si versa* il mercurio, quando per cresciuto calore si dilata così da oltrepassare la lunghezza del tubo; ma non può tornare in esso allorchè la temperatura si abbassa. Dopo l' esperienza si mette l'istrumento in uno stesso bagno con un termometro modello, e se ne deduce in gradi la quantità di mercurio versatasi nel serbatoio, i quali aggiunti a tutti quelli della scala daranno il cercato massimo di temperatura.

Il termometro poi a minimo à pure la colonna di mercurio, ma nel basso termina con alcole; poichè se il tubo è capillare, comecchè disposto verticalmente, la prima colonna si sostiene sulla seconda. Allorchè la temperatura si abbassa, il mercurio dal tubo successivamente cade in fondo al serbatoio senza più ritornarvi quando la temperatura cresce, ma in sua vece vi subentra altrettanto di alcole. Laonde guardando a suo tempo l'istrumento, dal mercurio che manca si argomenta la temperatura minima.

L'uno e l'altro si preparano ad ogni novella esperienza inclinando il tubo perchè vi entri la quantità conveniente di mercurio.

201. Termometri a solido. Ne'termometri a liquido l'azione termica si esercita attraverso la sostanza del recipiente, che pure ne assorbisce una parte: perciò la indicazione è men pronta e più debole. Inoltre il vetro riscaldato a un determinato grado si fonde, e quindi cotesti termometri non sono adatti alla misura di temperature elevatissime. Per l'opposto se il corpo termometrico è solido e *buon conduttore*, potendo risentire immediatamente l'azione del calore, ne indicherà a un tratto le più piccole variazioni. Ove poi si scelga tra le sostanze meno fusibili, si avranno allora i pirometri per misurare le più alte temperature (*).



Fig. 181.

1. *Termometro a spirale di Breguet.* Breguet padre e figlio orologiai a Parigi idearono il più sensibile termometro in questo genere. Esso componesi d'un nastro (fig. 181) formato di tre laminette esilissime di argento, oro, e platino, le quali insieme ànno appena la spessezza d'un sessan-

(*) Dal greco πυρ *fuoco*.

tesimo di millimetro. Il nastro è avvolto a spira col suo asse verticale, e libero in tutta la sua lunghezza: è fisso in alto, e in giù à un indice che scorre per le divisioni d'un cerchio graduato.

Il principio in forza di cui agisce è il seguente: l'argento si dilata e si restringe più che il platino per uguali cangiamenti di temperatura; e con ciò le spire si svolgono o si avvolgono, e il movimento dell'indice ne segna le variazioni. L'oro, che à dilatazioni medie tra gli altri due metalli, tempera i movimenti bruschi e impedisce le lacerazioni del nastro. Per graduare questo strumento fa d'uopo metterlo a confronto con un termometro a mercurio. Le sue indicazioni sono paragonabili, poichè è dimostrato che l'indice descrive archi proporzionali a'cangiamenti di temperatura.

Diversi fisici àn dato a cotesto termometro svariate forme rendendolo portatile in anelli e scattole. Geyser orologiaio di Milano nel 1833 ne presentò uno che al tirar d'una corda suonava il numero di gradi di temperatura, percuotendo una campana o l'altra secondo che i gradi erano sopra o sotto zero.

2. *Pirometro di Borda.* Sul medesimo principio della ineguale dilatazione de'metalli era fondato il termometro metallico usato da Borda nel misurare un arco del meridiano di Francia. Egli impiegava per misura lineare una verga di platino lunga 12 piedi; a saperne la temperatura in ogni operazione applicò su quella una seconda verga di rame men lunga, e le congiunse per un estremo. È chiaro che l'altra estremità della verga di rame corrispondeva a punti diversi della verga di platino a norma della temperatura comune. Per iscoprire siffatta relazione, immerse prima tutto il sistema nella neve in fusione, e poi nell'acqua bollente. Ebbe così due punti fissi da servire per base della scala, e divise quell'intervallo in parti eguali.

3. *Pirometri a quadrante.* Valgono principalmente ad osservare la temperatura delle fornaci. Eccone la costruzione: sopra un sostegno di porcellana *dura* v'è una scanalatura, e dentro essa un cilindro di argento immobile da un lato: l'altro lato è a contatto con un lungo cilindro di porcellana, il quale poggiandosi contro il braccio minore d'una leva a gomito fa muovere l'indice. Il cilindro d'argento vien collocato nel forno, l'indice rimane all' esterno abbastanza lontano dalle pareti di quello.

Siffatto pirometro è di Brogniart, e fu usato pe' forni a porcellana di Sèvres. Daniell sostituì all'argento il platino.

4. *Pirometro ad argilla.* Wedgwood direttore di figuline in Inghilterra ideò nel 1782 il pirometro ad argilla, la quale si restrigne per calore in cambio di dilatarsi. Si compone d'una lamina metallica (fig. 182), solcata da una scanalatura che diminuisce di ampiezza gradatamente da una estremità all'altra: è meglio che questa sia doppia per modo che la seconda incominci con quella larghezza, con cui termina la prima, e lo strumento è più maneggevole. La maggiore larghezza è 6 linee inglesi, la minima 4: la totale lunghezza è d'un piede inglese (metri 0,405), che vien divisa in 240 parti uguali, o gradi. Gl' indici *a* si compongono di argilla conformati a tronco di cono o di piramide, disseccati e cotti al calor rosso nascente, e di tali dimensioni che a quella temperatura vadano a capello nella più larga parte del canale, dov'è lo zero della scala. Volendone far uso, si espone l'indice alla sorgente di calore; ad esempio se è un forno vi s' introduce in piccol crogiuolo, e trattonelo quando si suppone che ne abbia preso la temperatura, e lasciatolo raffreddare, si rimette nel pirometro, e si spinge innanzi: s'inoltrerà più o meno secondo che la temperatura del forno è più o meno elevata.

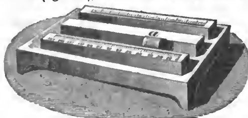


Fig. 182.

Le indicazioni di questo strumento non sono paragonabili: 1.° perchè le tante varietà di argille non si restringono del pari: 2.° perchè non è nota la relazione tra diminuzione di volume e temperatura, allorchè questa è molto elevata. Purtuttavolta Wedgwood per un indice formato di due parti di argilla di Cornowaglia e una di allumina pura, à stabilito le seguenti leggi: lo zero del pirometro corrisponde a 580°,56 del termometro centigrado, e ciascun grado del primo a 72°,22 del secondo. Laonde volendo convertire una indicazione di gradi W in gradi C, converrà moltiplicare quelli per 72,22, e poi aggiungere al prodotto 580,56.

202. **Termometri ad aeriforme**. Sono state mille le forme dei termometri ad aria dopo il primo di Galilei. Ci basterà descriverne due destinati a indicare non un grado assoluto di temperatura, ma una differenza, e perciò chiamati *differenziali*.

1. *Termometro differenziale di Leslie.* Questo strumento (fig. 183) è dovuto a Leslie professore di Edimburgo morto nel 1832: componesi d'un tubo di cristallo di picciol diametro piegato ad arco, o a tre lati d'un rettangolo, l'uno orizzontale, gli altri due verticali, con in cima due palle: è raccomandato ad una tavoletta sorretta da un piede. Il ramo orizzontale e parte degli altri due contengono acido solforico colorato con carminio che non emette vapori a temperatura ordinaria. Per introdurvelo si lascia ad una delle palle un'estremità acuminata ed aperta, la quale dopo avere leggermente riscaldata l'altra palla s'immerge nel liquido: la pressione dell'aria esterna durante il raffreddamento lo spinge dentro; si fonde poi con lampada a spirito quell' estremo e si chiude.

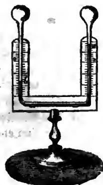


Fig. 183.

Ciò posto, se lo strumento vien collocato in un' atmosfera di temperatura costante o variabile, ma che ugualmente agisce su ambe le palle, la colonna liquida è immobile. Per graduarlo, in primo luogo si opera in modo con ripetuti saggi che nella condizione di equilibrio la colonna liquida *ab* sia ugualmente alta nei due rami. Ciò si ottiene riscaldando dolcemente una delle palle con appressarle la mano; così porzione dell'aria contenutavi passa nell'altra palla, e si aspetti il risultamento quando è raffreddata. Conseguito quello scopo si segna un zero al livello del liquido ne'due rami. Si determina poi l'altro punto della scala portando una delle due palle a temperatura di dieci gradi superiore a quella dell' altra: e ciò con introdurla in un imbuto aggiustato con sughero, nel quale si versa acqua dieci gradi più calda dell' ambiente. Allora una colonna liquida si abbassa, l'altra si solleva: ottenuto l' equilibrio si segna 10° dove il liquido si arresta nelle due branche, e ciascuna lunghezza tra i due limiti si divide in 10 gradi.

2. *Termoscopio di Rumford.* Il conte di Rumford americano morto presso Parigi nel 1814 ideò il *termoscopio*, così detto perchè oltremodo sensibile. È pure un termometro differenziale, ed à la stessa forma di quello di Leslie, meno che le palle sono più grandi, e la branca orizzontale più lunga. Inoltre non una colonna liquida, ma una sola goccia funziona da indice. Si gradua come l'al-

tro, ma lo zero è nel mezzo del ramo orizzontale : da ambo i lati si determina il punto 10,° e si prolunga la scala di alquanti gradi. Quando si vuole che una porzione d'aria da una palla vada nell'altra si fa entrare la goccia liquida in un picciol serbatoio soffiato a un de'lati: s'inclina poi lo strumento nell'istante opportuno perchè l'indice ne esca e s'immetta nel tubo.

DILATAZIONE DE'CORPI NE'TRE STATI FISICI

203. **Dilatazione secondo una o più dimensioni.** La dilatazione d'un corpo può considerarsi secondo una sola dimensione, secondo due, o secondo tre ; e dicesi *lineare*, *superficiale*, e *cubica*. Ne'liquidi e negli aeriformi non suole esaminarsi che l'ultima, pe' solidi può bisognare ciascuna d' esse. Dalla dilatazione lineare per altro s'inferisce la superficiale e la cubica: in quanto che supponendo costante per ogni verso o nulla la forza di coesione, uguali aumenti di temperatura produrranno proporzionali dilatazioni lineari secondo le tre dimensioni; allora la dilatazione superficiale è doppia della lineare , la cubica n' è tripla (*).

Dilatazione uniforme e varia, coefficiente di dilatazione. La dilatazione può essere uniforme o varia , secondo che il volume del corpo preso a una temperatura normale, per esempio a 0,° si accresce d'una frazione costante o variabile per ogni grado d'aumento. Allorchè la dilatazione è uniforme, la ragione costante tra l'aumento di volume per un grado e 'l volume primitivo dicesi *coefficiente di dilatazione cubica.* Nella stessa maniera si definiscono i coefficienti delle dilatazioni lineare e superficiale. (**)

(*) Esprima l la dilatazione lioeare dell'unità di volume per un grado di temperatura; la uoità di volume diventa

$$(1+l)^3 = 1 + 3l + 3l^2 + l^3.$$

Or è dimostrato ehe l' allungameoto l è sempre una frazione tenuissima della lunghezza primitiva; potremo dunque trascurare le potenze seconda e terza, e resterà l'aumeoto della unità di volume espresso da $3l$. Con analogo ragionamento si dimostra che $2l$ è la dilatazione superficiale.

(**) Sia l la lunghezza di una verga a 0°, n il coefficiente della dilatazione lineare, b l' allungamento per un grado d'elevazione di temperatura : sarà $n = b:l$, donde $b = ln$. Se dunque si riscaldi la verga sino alla temperatura t, la sua lunghezza diverrà $l' = l + bt = l + lnt$, cioè

$$l' = l\,(1 + nt);$$

date perciò tre delle quattro quaotità l', l, n, t, si conosce la quarta.

Identico è il calcolo de'coefficienti superficiale e cubico.

Quando poi la dilatazione è varia, il coefficiente non è costante; ma in questi casi si à un *coefficiente medio* dividendo la dilatazione totale tra due temperature limiti pel numero di gradi che esprimono la differenza. L' errore che con ciò si commette sarà spregevole, per essere d'ordinario tenuissime le dilatazioni medesime non che le loro differenze.

Dilatazione reale o assoluta, e apparente o relativa. I solidi ànno una forma a se e può misurarsi direttamente la loro dilatazione *reale*, che dicesi anche *assoluta*. Avverrebbe il medesimo de'liquidi e degli aeriformi se insiem con essi non si dilatasse la materia de'recipienti. Ma variando a un tempo la capacità de'serbatoi, non si rende sensibile che una dilatazione *apparente*, o vogliam dire *relativa*, cioè l'eccesso della dilatazione assoluta de'liquidi o degli aeriformi su quella del serbatoio. Per ridurre dunque la dilatazione apparente alla reale è necessaria una correzione: più pe'liquidi che per gli aeriformi, la dilatazione de'quali è molto maggiore.

204. Dilatazione degli aeriformi. Il teorema della uniforme dilatazione dell' aria atmosferica fu dimostrato ad evidenza nel 1792 dal sommo italiano Alessandro Volta morto in Pavia nel 1827. Dieci anni dopo ripeterono le sperienze di lui senza pur nominarlo Iohn Dalton in Manchester e Gay-Lussac in Parigi estendendole altresì ad altri aeriformi. Dulong e Petit le ampliarono tra le temperature — 36° e + 360.° Poscia se ne occupò Pouillet; e finalmente Magnus e Regnault.

Apparecchio di Volta. Volta adoperò un cannello di vetro lungo presso a 15 pollici e largo due o tre linee diviso in parti d' uguale capacità, con una pallina soffiatavi in cima. Determinata la relazione di capacità tra la pallina ed il cannello, riempì quello di aria scrupolosamente asciutta, ed il tubo di olio o di mercurio bolliti per averli ugualmente secchi. Aveva egli bene avvertito che un velo di umidità aderente alle pareti del tubo o alla superficie liquida faceva crescere fuor misura le dilatazioni; nè può così non avvenire conoscendosi che l'acqua nel trasformarsi dallo stato liquido in vapore acquista volume 1700 volte maggiore. Quindi introdusse tutto il sistema in un lungo provino con liquido così che anche la pallina la quale rimaneva in alto vi fosse immersa. Finalmente con ghiaccio o con acqua più o meno calda riduceva il bagno a diverse temperature, e ottenuto ogni volta l'equilibrio osservava nell'aria la variazione di volume.

Apparecchio di Gay-Lussac. Poco diverso in sostanza fu l'apparecchio di Gay-Lussac. Il tnbo capillare AB (fig. 184) col picciol serbatoio A da un lato vien riempito dell' aeriforme su cui deve spe-

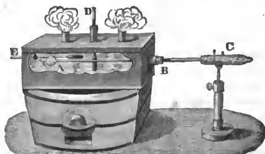


Fig. 184.

rimentarsi, il quale perchè vi penetri ben purgato d'umidità è obbligato a traversare prima un cilindro C con entrovi cloruro di calcio fuso. Il serbatoio con porzione del tubo è allogato orizzontalmente in una scattola prismatica di latta, in cui dapprima si versa del ghiaccio pesto; e poi mercè un fornello sottoposto si scalda da 0° a qnel grado che piace. Due termometri D, E, segnano le temperature, e per ciascnna d'esse l'indice di mercurio B fa conoscere la dilatazione.

Apparecchio di Pouillet. Ponillet adoperò un lungo cannello di platino orizzontale, il quale à da un lato nn serbatoio pnre di platino, e dall'altro s'innesta con nn tubo piegato a U co'due rami verticali. Ciascun di questi è più lungo di 760^{mm}; sono divisi in parti di nguale capacità, e contengono mercurio, che può versarsene per nna chiave collocata in basso. Il serbatoio e tutto lo spazio seguente insino al mercurio contengono l'aeriforme. Dapprima si porta a 0° il serbatoio, e poi si riscalda alla temperatura che piace; ma prima di misurare la dilatazione accaduta conviene assicurarsi che la tensione dell'aeriforme interno nguagli la costante pressione barometrica. Cotale uguaglianza si argomenta dall' essere pari in altezza le colonne di mercurio ne' due rami del tubo; si consegue poi o con aggiungere mercurio per la estremità aperta quando la pressione esterna fosse maggiore, o con sottrarne per la sottoposta chiave quando fosse eccedente la pressione interna. Imperocchè operando nel primo modo viene a contrarsi il volnme aeriforme, donde un aumento di forza elastica: nel secondo si à un accrescimento di volnme, e la forza elastica diminuisce.

Metodi di Regnault. Regnault si è servito di quattro metodi differenti, ritenendo talvolta costante la pressione al variare del volume gassoso, tale altra variando la pressione e non il volume aeriforme. Un d'essi consiste nel riempire dell'aeriforme secco a 100° un sistema di due tubi cilindrici, l'uno di maggior diametro, l'altro capillare; e mentre quello circondato di ghiaccio scende a 0°, s'immerge questo in una vaschetta piena di mercurio. Restringendosi l'aeriforme, la pressione dell'aria esterna spinge il mercurio nel sistema di tubi. Ottenuto l'equilibrio, quando cioè la pressione esterna pareggia la elasticità dell'aeriforme accresciuta dell'eccesso della colonna interna di mercurio sul liquido esterno, si misura questo eccesso, e se ne inferisce la contrazione da 100° a 0°.

Leggi della dilatazione degli aeriformi :

1.ª *L'aria atmosferica à un coefficiente di dilatazione espresso da 0,003665, ossia da 1/273.* Ciò vuol dire che se un volume d'aria a 0° si rappresenta con 273 unità di volume, per l'aumento di 1° esso riducesi a 274, per l'aumento di 2° a 275, e così di seguito; per modo che diventerebbe doppio alla temperatura di 273.°

2.ª *Il medesimo senza errore sensibile può ritenersi come il coefficiente di dilatazione per tutti gli aeriformi.*

Veramente Regnault à scoverto delle differenze ne' coefficienti da lui determinati tra 0° e 100° come segue :

Idrogeno	0,0036678
Azoto	0,0036682
Acido solforoso	0,0036696
Acido cloridrico.	0,0036812
Cianogeno	0,0036821
Acido carbonico.	0,0036896.

À dimostrato inoltre che quanto è più valida la pressione cui un aeriforme è sottoposto, tanto è maggiore la sua dilatazione per un medesimo aumento di temperatura; e tanto altresì è più notevole la differenza tra i coefficienti di dilatazione di due aeriformi. Ma tutte queste variazioni sono sempre oltre ogni dire piccolissime.

205. Conseguenze ed applicazioni.

1. *Termometro ad aria norma di tutti gli altri.* Poichè la dilatazione degli aeriformi è costante a differenza di quello vedremo accadere pe' liquidi e pe' solidi, ne viene di per se che il termometro ad aria è il termometro modello, e deve essere preferito nelle

esperienze dilicate. Gli si dà forma simile all'apparecchio di Gay-Lussac per le temperature basse, a quello di Pouillet per le elevate.

Si rifletta però a scanso di ogni equivoco, che cotesta uniformità di dilatazione negli aeriformi va intesa a questo modo. Il termometro ad aria va di accordo con quello a mercurio dentro i limiti ne'quali sappiamo essere costante la dilatazione del mercurio; adunque poichè a riguardo degli aeriformi non àn luogo quelle cagioni di variazione che militano pe'liquidi e pe' solidi si argomenta che anche di là da quei limiti là dilatazione de'primi debba serbarsi uniforme. Ciò vuol dire che tale a buon dritto si suppone, ma non è dimostrata a rigore.

2. *Freddo assoluto.* Se fosse costante il coefficiente della dilatazione de'gas anche per temperature bassissime, e la dilatazione rispondesse alla quantità di calore nella stessa ragione, si determinerebbe il grado del *freddo assoluto* o della totale mancanza di calore col seguente discorso. Un aeriforme per un grado di abbassamento di temperatura sotto 0° perderebbe 1/273 della quantità di calore che possiede a 0°: a — 2° ne perderebbe 2/273, e così di seguito; cosicchè a — 273° lo avrebbe perduto del tutto, e sarebbe quello il grado del freddo assoluto. Ma non v' è chi non vede quanto sia arbitrario un tal ragionamento comecchè ingegnoso.

3. *Correnti aeriformi.* L'aria dilatata ascende con forza uguale alla differenza di peso tra un pari volume di aria riscaldata e di aria fredda circostante (160). Se poni nel mezzo d'una stanza una sorgente di calore, si produrrà quivi una corrente ascendente, nel soffitto una corrente raggiante dal centro alla periferia, una discendente lungo le pareti, e infine al pavimento una corrente raggiante dalla periferia al centro. Coteste correnti avrebbero tutte una direzione inversa adoperando invece del ghiaccio. Identica è la cagione delle due opposte correnti tra l'aria calda d'una stanza e l'aria fredda esterna scoverte da Franklin; l' aria esterna riscaldata esce per l'alto dell'uscio o della finestra, mentre l'aria fredda vi affluisce per la parte bassa. Ti sarà agevole avvederti di quel primo e di questo secondo fatto scorrendo pe' vari punti con una candela accesa: la inclinazione della fiamma indicherà la direzione della corrente aerea.

Non è difficile calcolare quanta è la velocità della corrente ascendente. Supponiamo ad esempio l' aria riscaldata a 100° mentre la

circostante è a 0°: la velocità teoretica ascensionale sarebbe proporzionale alla dilatazione da 0° a 100°. Si abbia quindi un tubo lungo 20 metri sovrapposto ad una sorgente di calore a 100°, mentre l'aria esterna è a 0°: la totale dilatazione della colonna aerea nel tubo viene espressa da $20^m \,.\, 100 \,.\, 0{,}003665$; adunque poichè con le formole del moto de'gravi (66) si rinviene, che cadendo un corpo da quell'altezza acquista velocità di 12 metri al 1″, questa pure è la velocità con cui l'aria ascende in quel tubo.

Sarà detto in meteorologia essere questa la cagione de'venti, come lo è di quelle correnti aeree che si osservano in parecchie caverne. Orazio Benedetto de Saussure ne cita molte di somiglianti grotte, da lui visitate: ne esce d'està una corrente d'aria fredda, e vi s'introduce d'inverno l'aria esterna. Le più celebri sono quelle del monte Testaceo a Roma picciol colle tutto formato di rottami di terre cotte, di Cesi nell'Umbria, di San Marino, di Chiavenna al Nord del lago di Como, di Caprino presso la città di Lugano, di Catalogna alla base del Vulcano Batet; ed appo noi quelle dell'isola d'Ischia, e delle falde del Vesuvio in più siti. In quanto però alla cagione del fatto non può sostenersi la opinione del geologo Ginevrino, il quale pensa che l'aria di tali caverne sia in parte accessibile a'cangiamenti di temperatura dell'aria esterna, e però riscaldata in està produca una corrente uscente, e per converso raffreddata l'inverno dia luogo ad una corrente entrante. Or a parte di qualunque altra osservazione ci basti dire, che essendo noto il coefficiente di dilatazione dell' aria è agevole persuadersi, che in pochi istanti l'aria interna sarebbe ridotta ad equilibrio di tensione colla esterna, e la corrente si arresterebbe. Invece la spiegazione del fenomeno è la seguente. Coteste cavità sotterranee àn due aperture per le quali comunicano con l'aria esterna, più elevata l'una, l'altra più bassa; e ciò non ostante la temperatura dell'aria interna è sempre più bassa in està dell'aria esterna, più alta in inverno. Adunque in està l'aria esterna a contatto con l'apertura superiore si raffredda, penetra per essa, e ne esce per l'apertura inferiore : nell' inverno l' aria calda interna ascende , vien fuora per l'alto, e l'aria esterna s'introduce per l' apertura bassa onde ascendere anch'essa dopo essersi riscaldata.

Aspirazione de'camini. Di quì pure l'aspirazione de'tubi o dei condotti per avere una combustione più attiva, e quindi più viva luce o calore più intenso ne'forni e ne'camini. In un camino ad e-

sempio (fig. 185), non potendo esservi equilibrio tra la colonna di aria esterna AB, e la interna CD riscaldata, questa ascenderà, e la esterna ne prende il posto per riscaldarsi anch'essa alla sua volta e salire. Perchè un camino *tiri* bene, come si dice, fa d'uopo che il condotto del fumo sia lungo abbastanza, ma non oltre certi limiti per evitare il soverchio consumo del combustibile, e che la sua sezione sia precisamente quanto basta per dare uscita ai prodotti della combustione: se fosse troppo ampia si produrrebbero in esso delle correnti ascendenti e discendenti, e'l camino spanderebbe fumo. È bene finisca in alto con appendice d'un tubo adduttore più stretto, affinchè la corrente uscente vi acquisti velocità per vincere la resistenza del vento.

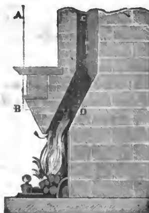


Fig. 185.

Fa d'uopo inoltre che l'aria esterna possa affluire liberamente: se la stanza, ov'è il camino, fosse ermeticamente chiusa, si comprende che la combustione sarebbe impossibile. Quando si accende il fuoco si abbassa fin presso al suolo la porta del camino, che suole essere di ferro in lamina, perchè la corrente affluisca più rapida e passi rasentando o traversando il combustibile: poi si solleva a piacere. Quando si tratta di spegnerlo, si chiudono così la porta del camino, come il condotto del fumo per mezzo d'una valvola piana e girevole che à la forma della sua sezione.

206. **Dilatazione de'liquidi.** Con differenti metodi si determina il coefficiente della dilatazione apparente de'liquidi, come pure dell'assoluta.

Dilatazione apparente. Si può usare un apparecchio simile a quello di Volta o di Gay-Lussac per gli aeriformi; ossia un cannello di vetro diviso in parti uguali con pallina ad un estremo. Si misura prima la capacità della pallina e del cannello, e la relazione tra quella e un grado di divisione: poi si riempie di liquido il serbatoio e parte del cannello; e fattolo bollire per cacciarne l'aria che ne altererebbe la dilatazione, si fonde in cima il cannello, e si chiude perchè non isfugga vapore. Ciò fatto, non rimane che portare tutto il sistema prima a 0°, poi a 100°: l'eccesso

del secondo volume sul primo esprimerà tutta la dilatazione apparente; e questa divisa pel volume a 0° ne darà il valore corrispondente a questo volume.

Vale all'istesso fine l'apparecchio che ben si direbbe a *versamento*,ed è un serbatoio cilindrico disposto orizzontalmente e congiunto a un tubo capillare, il cui estremo aperto è piegato in basso. Riempitolo di liquido a 0° si riscalda fino a 100°, e si raccoglie in una vaschetta tutta quella quantità, che per la dilatazione se ne versa. La dilatazione apparente relativa al volume a 0° sarà il quoziente, che si ottiene dividendo il peso del liquido uscito per quello del liquido contenuto nell'apparecchio a 0°. Questo valore diviso per 100 esprimerà il coefficiente della dilatazione apparente.

Lavoisier e Laplace usando il primo di cotesti due metodi trovarono il coefficiénte della dilatazione apparente del mercurio uguale a $\frac{1}{6300}$; è però più esatto $\frac{1}{6480}$, quale venne determinato da Dulong e Petit col secondo metodo. Ma pel Regnault esso varia non pure con la sostanza, ma financo colla forma del serbatoio.

2. *Dilatazione assoluta*. Vuol essere definita indipendentemente dalla dilatazione del serbatoio. Due mezzi furono imaginati, e si fondano su due principî d'idrostatica: il primo sull'equilibrio dei liquidi ne'vasi comunicanti, impiegato da Dulong e Petit pel mercurio: l'altro sulla perdita di peso che soffre un solido in un liquido, usato da Hallstrom per l'acqua; descriviam per ora il primo.

L'apparecchio di Dulong e Petit (fig. 186) si compone di due tu-

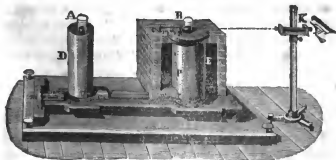


Fig. 186.

bi di vetro A, B, verticali e comunicanti in giù per mezzo d'un cannello che deve essere capillare tra per diminuire la massa del liquido, e per impedire che durante il riscaldamento si stabilisca-

no correnti parziali tra i liquidi de'due rami e si rimescolino. Tutto il sistema è poggiato sur una base che si tiene orizzontale per mezzo di viti calanti coll'aiuto de'due livelli m, n. Ciascun tubo è circondato da un fodero metallico: quello di minor diametro D si riempie di ghiaccio, l'altro B di olio, che man mano vien riscaldato sino a 300° e ne indica la temperatura un termometro a versamento P, il cui liquido si raccoglie nella vaschetta C.

Or egli è chiaro che il mercurio versato nel sistema di tubi ascende dapprima alla medesima altezza in entrambi; ma poi restando a 0° nel tubo A, e riscaldandosi nel tubo B, le altezze varieranno nella ragione inversa delle densità o nella diretta delle dilatazioni, sia qualunque l'alterazione di capacità ne'due tubi. Si misurino dunque esattamente queste altezze mediante il catetometro K, e si otterrà la dilatazione assoluta del mercurio.

I due valenti fisici scoprirono che il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio è differente secondo le temperature: cioè $\frac{1}{5550}$ da 0° a 100°; $\frac{1}{5425}$ da 100° a 200°; $\frac{1}{5300}$ da 200° a 300°.

La dilatazione assoluta, com'è naturale, è maggiore dell'apparente; ma è importante dedurre da entrambe la dilatazione del vetro: si avrà cioè

$$\frac{1}{5550}-\frac{1}{6480}=\frac{1}{38700}.$$

207. **Leggi della dilatazione de' diversi liquidi.** Se costruiscansi termometri con bulbi e cannelli della stessa capacità, ma contenenti liquidi diversi, come fu eseguito la prima volta da Deluc nel 1794, e si collochino in uno stesso bagno ugualmente riscaldato, potranno dimostrarsi le due leggi seguenti:

1.ª *I varî liquidi ànno un coefficiente di dilatazione assai diverso l'uno dall'altro.*

Ciò si argomenta dall'essere inegualmente lunghi i gradi di quei termometri, e misurandoli se ne deduce il valore del rispettivo coefficiente di dilatazione. Ci piace quì riferire la dilatazione da 0° a 100° di alcuni liquidi più usitati nelle esperienze, rappresentando con la unità il loro volume a 0°.

Mercurio. . . .	1/64	0,01543	Essenza di trementina.	1/14	0,07
Acqua distillata .	1/21	0,0466	Etere solforico . .	1/14	0,07
— satura di salm.	1/20	0,05	Oli fissi	1/12	0,08
Acido solforico. .	1/17	0,06	Alcole	1/9	0,11
—— cloridrico. .	1/17	0,06	Acido azotico. . .	1/9	0,11

2.ª *Per ciascun liquido la dilatazione è uniforme tra limiti di temperatura lontani da quelle che corrispondono al suo cangiamento di stato: cresce con la temperatura.*

Infatti, sebbene quei termometri perchè graduati ugualmente sieno concordi ne'limiti estremi 0° e 100, pur non vanno di concerto nelle temperature intermedie. Per assicurarsene, basterà dare una occhiata alla tavola seguente dovuta a Dawy:

Mercurio	Alcole	Olio d'oliva	Acqua	Acqua satura di salmarino
100°	100°	100°	100°	100°
75	70,25	74,1	87,25	71,37
50	43	49	25,6	45,37
25	20,6	24,1	5,1	21,6
0°	0°	0°	0°	0°

dalla quale apparisce che sono meno discordanti le dilatazioni di quei liquidi che bollono a temperature più elevate.

Massimo di densità dell'acqua. L'acqua a differenza degli altri liquidi presenta un fenomeno singolare. Raffreddandosi, il suo volume gradatamente diminuisce, ma sino ad un certo limite, al di sotto del quale se la temperatura scende anche più, in cambio di continuare a restrignersi si dilata. Adunque l'acqua possiede a quel grado un *massimo di densità*. È di grande importanza definirlo, poichè in quella condizione l'acqua è stata scelta qual termine di paragone di parecchie misure, come della unità di peso assoluto e specifico (56,57). V'à perciò diversi metodi.

1. Hallstrom, come accennammo, à studiato la dilatazione dell'acqua determinando la perdita di peso, che soffre una sfera di vetro immersavi dentro alle diverse temperature. Egli tenendo conto del cangiamento di volume nella sfera à dedotto da 64 osservazioni, che la perdita massima di peso à luogo verso 4°,108, e ne concluse essere questa la temperatura corrispondente al massimo di densità dell'acqua.

2. Se paragonisi un termometro ad acqua con uno a mercurio, si osserverà nel primo un massimo di contrazione quando il secondo segna 5°. Da ciò mal si dedurrebbe essere 5 il grado, al quale l'acqua à il volume minimo. La contrazione non è che apparente, ed è indispensabile tener conto della contrazione del vetro. Despretz à eseguito la correzione, e ne à dedotto che il grado della massima densità è 3°,997, o molto dappresso a 4°. Questo risultamento deve ritenersi come più esatto infra tutti gli altri.

3. Il fatto dell'avere l'acqua un massimo di contrazione verso 4° può rendersi altresì evidente con la seguente esperienza. Abbiasi un lungo bicchiere di cristallo AB (fig. 187): due termometri C, D il traversino, de'quali il primo sia verso l'orlo, l'altro verso il fondo; e nel mezzo si aggiusti un tamburo E con entrovi ghiaccio pesto. Si colmi ora il bicchiere di acqua, per esempio a 30°; e presto si osserverà che durante il raffreddamento i due termometri non andranno di accordo: l'inferiore D indicherà una temperatura più bassa del superiore C. Adunque l'acqua raffreddandosi si condensa, cresce di peso. Questo però si avvera finchè il termometro inferiore non perviene a 4°. Da quel momento il termometro superiore continuando a scendere indicherà 4° anch'esso, e poi man mano segnerà una temperatura più bassa dell'inferiore.

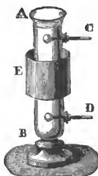


Fig. 187.

Cotesto apparecchio è dell'inglese Hope, il quale però se ne valse alquanto altramente. Il riempì d'acqua a 0°, e collocatolo in una stanza, di cui l'aria era d'alquanti gradi sopra 0°, osservò senz'altro l'andamento de'termometri durante il riscaldamento. Egli ottenne così un massimo di densità tra 3°,33 e 3°,38.

I così detti *pozzi di ghiaccio* nelle ghiacciaie delle Alpi sono un fenomeno analogo al descritto esperimento, ed è dovuto alle correnti discendenti e ascendenti, che avvengono nella fusione del ghiaccio, come conseguenza del cambiamento di densità dell' acqua. La superficie piana del ghiaccio a' raggi solari si riscalda e si fonde uniformemente e con lentezza quando l'aria è sotto 0°; che se un corpo straniero, come un frammento di vegetale si trovi sul ghiaccio, assorbisce calore e accelerandone la fusione vi genera una cavità: in essa discende l'acqua di fusione riscaldata che può elevarsi sino a 4°, e ne liquefà le pareti e più il fondo, il quale si abbassa sempre maggiormente.

Massimo di densità dell'acqua con sostanze straniere. Le discorse cose vanno intese a rigore dell'acqua stillata, e procedono altrimenti se l'acqua contiene de'sali in soluzione o altre sostanze straniere. Ermann figlio sperimentando sulle soluzioni acquose di sale marino scoprì, che la sua presenza faceva abbassare il punto della massima densità tanto più quanto ne era maggiore la copia; e di-

venne a questa conseguenza, che una soluzione satura non avesse più un massimo di densità. Invece Despretz impedendo, come vedremo esser possibile (215), la congelazione del liquido, è giunto a dimostrare che: ogni soluzione à un massimo di densità, per l'ordinario a temperatura più bassa del solvente, e talvolta pure al di sotto del proprio punto di congelazione.

Ecco alcuni de' risultamenti da lui ottenuti:

Sostanze sciolte in acqua	*Massimo*	*Congelazione*
Cloruro di sodio	—16°	—4,30
—— di calcio	—10,43	—3,28
Solfato di potassa	— 8,37	—4,08
—— di soda	—12,26	—2,17
Carbonato di potassa	—12,41	—2,25
—— di soda	—17,30	—2,20
Potassa	—15,95	—4,33.

208. Dilatazione de' solidi. La dilatazione de' solidi perchè incomparabilmente minore di quelle de'liquidi e degli aeriformi, vuole essere misurata con molto maggiore precisione (*).

Dilatazione lineare. Primi se ne occuparono gli accademici del Cimento, poscia Muschenbroeck. Nel 1782 Lavoisier e Laplace istituirono le loro ricerche valendosi del metodo di quest' ultimo nel seguente modo. La verga sottoposta all' esperienza è collocata orizzontalmente in una cassa quadrangolare: si circonda prima di ghiaccio, e poi da 0° vien portata alla temperatura dell'acqua bollente: essa è fissa da un lato e dall' altro spingendo il braccio minore di una leva fa rotare un cannocchiale.

La mira a che questo si dirige è una spranga verticale sita a distanza di 100 tese, e sono tali le dimensioni del sistema, che quando la verga si allunga di una linea, l' asse del cannocchiale ne scorre 744 sulla linea di mira. Adunque poichè le verghe saggiate aveva-

(*) L'argilla presenta eccezione alla legge generale della dilatazione per aumentato calore. Può attribuirsene la cagione o all'acqua frapposta tra le molecole, che trasformandosi in vapore permette che quelle risentano più valida la forza di coesione, e si appressino; o pure ad una combinazione più intima tra i principi che la compongono, silice e allumina. Sembra più ragionevole la prima allorchè si tratta di lieve riscaldamento, e la seconda quando il calore è più intenso. Si rifletta però, che l'argilla non offre più cotale anomalia se una seconda volta si espone alla stessa temperatura elevata di prima: allora si dilata al pari di ogni altro solido.

no lunghezza di una tesa (6 piedi = linee 6. 12. 12), cotesto istrumento rendeva sensibile un aumento di $\frac{1}{744.6.744} = \frac{1}{642816}$ della lunghezza primitiva.

Ramsden preferì la misura diretta. Il suo meccanismo consiste in una cassa di rame, entro cui si pone orizzontalmente la verga da saggiare: da ciascun dei lati in posizione parallela v'è una grossa barra di ferro fuso entro una corrispondente cassa di legno per impedire ogni comunicazione di calore. Agli estremi delle tre verghe da un capo e dall'altro è disposto un sistema microscopico formato di oculare, di obbiettivo, e di fili incrociati, che si corrispondono in un medesimo asse alloraquando le tre barre sono a 0°; ma se la barra media venga riscaldata, gli assi dell'oculare e dell'obbiettivo non più rispondono ai fili: allora il moto necessario mercè una vite micrometrica, affinchè sieno di nuovo nella medesima dirizzatura, darà la misura della dilatazione lineare accaduta.

I risultamenti con ambo i metodi sono quasi gli stessi; eccone un saggio quale venne pubblicato dalla Signora Lavoisier dopo la infelice fine dell'illustre fondatore della chimica moderna, oltre pochi dovuti ad altri sperimentatori.

Nome delle sostanze	*Dilatazione lineare da 0° a 100°* in decimali	*in frazioni ordinarie*
Flint-glass inglese	0,000 811 66	1/1248
Vetro di Saint-Gobin	0,000 890 89	1/1122
Platino (secondo Borda)	0,000 856 55	1/1157
Vetro di Francia con piombo	0,000 871 99	1/1147
Tubi di vetro senzo piombo	0,000 875 72	1/1142
	0,000 897 60	1/1114
	0,000 917 51	1/1090
Palladio (secondo Wollaston)	0,001 000	1/1000
Acciaio non temperato	0,001 078 80	1/927
	0,001 079 13	1/927
	0,001 079 60	1/926
—— temperato giallo ricotto a 65°.	0,001 239 56	1/807
	(tra 0° e 30°)	
—— —— ricotto a 30°	0,001 386 00	1/722
Ferro fuso (secondo il Gen. Roy).	0,001 110	1/901
—— dolce battuto	0,001 220 45	1/819
—— tondo trafilato	0,001 325 04	1/812
Oro puro	0,001 466 06	1/682
—— al titolo di Parigi ricotto	0,001 513 61	1/661
—— —— non ricotto	0,001 551 55	1/645

Rame	0,001 712 20	1/584
	0,001 722 40	1/581
Ottone	0,001 866 70	1/335
	0,001 889 70	1/529
Argento al titolo di Parigi	0,001 908 68	1/524
—— di copella	0,001 909 74	1/524
Stagno delle Indie o di Malacca	0,001 937 65	1/516
—— di Falmouth	0,002 172 98	1/462
Lega da specchi (secondo Smeaton)	0,001 933 33	1/517
Piombo	0,002 848 36	1/351
Zinco (secondo Smeaton)	0,002 941 67	1/30

È bene osservare che i metalli fusibili a meno elevata temperatura sono anche i più dilatabili, come il piombo e lo zinco: succede l'opposto pel platino. Ma non può stabilirsi una legge costante, essendo grande la influenza in tali fenomeni della peculiare struttura del corpo.

Dilatazione cubica. Triplicando la dilatazione lineare d'un corpo, se ne ottiene la dilatazione cubica (203); ma così facendo ogni errore nella prima, diviene triplo per la seconda. È dunque a preferire il metodo di Dulong e Petit, i quali dedussero la dilatazione cubica de'solidi dalla dilatazione assoluta del mercurio e da quella del vetro determinate come sopra esponemmo. Usarono un serbatoio cilindrico di vetro, nel cui mezzo è sostenuta una verga della sostanza messa a prova, per esempio di ferro, senza che ne tocchi le pareti. Riempirono sino all'orlo l'apparecchio di mercurio secco a 0°. Poscia l'immersero in un bagno di olio, ed il portarono a 100°. Così facendo è chiaro che si versa del mercurio, la cui quantità è nella ragione diretta della dilatazione assoluta del mercurio e di quella del corpo immerso, e nella ragione inversa della dilatazione del vetro. Adunque poichè sono conosciute la prima e la terza, potrà inferirsene la seconda.

Se trattasi d'un metallo che si amalgama a contatto del mercurio, conviene ossidarne alquanto la superficie, o covrirla d'un sottile strato di vernice.

Del resto conosciuta la dilatazione d'un solo metallo, del ferro, può dedursene col paragone quella degli altri, come fecero in quanto al rame Dulong e Petit, adoperando il metodo di Borda (201,2). Disposero orizzontali e parallele in un bagno d'olio una verga di ferro e una di rame lunghe ciascuna 12 decimetri, e della stessa se-

zione trasversale: urtano da un lato un ostacolo invincibile di ferro, sono scorrevoli su carrucole di vetro, e terminano dall'opposto lato in due appendici; le quali ascendono alquanto, e poi si prolungàno in due regoli orizzontali. Su questi è segnata la scala: un d'essi è diviso in quinte parti di millimetro, l'altro à un nonio indicante i ventesimi delle prime divisioni, ossia i centesimi di millimetro. Ciò posto si porti il bagno a una nota temperatura: le verghe si dilateranno inegualmente: la coincidenza delle divisioni nella scala e nel nonio indicherà la loro dilatazione relativa; e per conseguente s'inferirà la dilatazione assoluta d'uno d'essi, essendo nota quella dell'altro.

Leggi della dilatazione de' solidi.

1.ª *I corpi solidi ànno ciascuno a se un coefficiente di dilatazione, che può ritenersi come costante tra 0° e 100°; ma di là da questo limite il coefficiente cresce con la temperatura.*

La ispezione della tavola riferita di sopra basta per dimostrare la prima parte di cotesta legge. Il solo acciaio temperato soffre delle variazioni tra i medesimi limiti; nè fa meraviglia se riflettesi che il calore più o meno intenso modifica la tempera dell'acciaio, la sua elasticità e durezza, e quindi anche la maniera di coesione e la costituzione molecolare.

La seconda parte si deduce dalle esperienze di Dulong e Petit eseguite tra limiti di temperatura differenti: è bene quì riferirle:

Dilatazione lineare per ogni grado in frazioni decimali e in fraz. ordinarie

Platino	da	0° a 100°	0,000 884 20	1/1161
		0° a 300°	0,000 818 27	1/1089
Vetro	da	0° a 100°	0,000 861 33	1/1161
		0° a 200°	0,000 948 36	1/1032
		0° a 300°	0,001 010 84	1/987
Ferro	da	0° a 100°	0,001 182 10	1/846
		0° a 300°	0,001 468 42	1/681
Rame	da	0° a 100°	0,001 718 20	1/582
		0° a 300°	0,001 883 24	1/531

2ª. *Ogni cangiamento della composizione d'un corpo, come pure della sua forma, e financo della struttura, fa alterare il coefficiente di dilatazione.*

In quanto alla influenza della composizione e della forma, ci ba-

sterà riportare alcuni risultamenti delle ricerche di Regnault sulla dilatazione cubica del vetro da 0° a 100°.

Vetro bianco	in tubi	0,002 648
	in palla di 46mm di diametro.	0,002 592
Vetro verde	in tubi	0,002 299
	in palla di 36mm di diametro .	0,002 132
Vetro infusibile francese	in tubi	0,002 142
	in palla di 32mm di diametro .	0,002 242
Cristallo ordinario	in tubi	0,002 101
	in palla di 29mm di diametro .	0,002 330

Fa d'uopo però avvertire che un serbatoio vuoto subisce le stesse alterazioni di capacità, sia qualunque la spessezza delle pareti; d'onde si deduce che la sua dilatazione è quale sarebbe se fosse pieno, e delle stesse dimensioni e forma.

La ineguale struttura d'un corpo ne modifica puranco la dilatazione. Infatti quelli che l'ànno fibrosa si dilatan più nel senso delle fibre che nella direzione normale ad esse. Somigliante è la cagione per cui parecchie sostanze organiche come i legni, le pergamene, la carta e simili, si piegano al fuoco, si torcono, s'incartocciano: esse disseccansi inegualmente, e pure in diversa ragione si dilatano ne'vari sensi. Anco i corpi inorganici, che non ànno coesione uniforme secondo le tre dimensioni, subiscono ineguali dilatazioni secondo esse: tali sono i cristalli non appartenenti al sistema del cubo. Infatti Fresnel fu il primo a scovrire che la doppia rifrazione diminuisce in un cristallo di gesso col crescere della temperatura: il che non può avvenire senza un'alterazione nella forma del cristallo. Ma in seguito Mitscherlich riscaldando da 0° a 100° un romboedro di spato d'Islanda osservò veramente che gli angoli ottusi diminuiscono di 8',30", e crescono di altrettanto gli angoli acuti, donde inferì una tendenza del romboedro al cubo: e finalmente scoprì che mentre il cristallo si allunga in direzione parallela all'asse, si contrae nella direzione perpendicolare.

209. **Conseguenze ed applicazioni.** È indispensabile tener presente nelle arti la varia dilatazione che subiscono i solidi, soprattutto i metalli. I vasi di cristallo, che non sieno rimasti nelle stufe il tempo conveniente, si rompono se vengano esposti d'un subito ad un rapido cangiamento di temperatura, con versarvi ad esempio un liquido molto più caldo o freddo dell'ambiente; e ciò perchè non si dilatano o non si restringono ugualmente nelle va-

rie direzioni. Se le rotaie delle strade ferrate non fossero interrotte a determinati intervalli, ma si toccassero, crescendo in lunghezza per calore estivo si curverebbero sino a strappare i cuscinetti che le tengono in sito. E le graticole de'fornelli, se sono incastrate esattamente tra le pareti da ogni lato, le danneggiano o si frangono. E le lastre di piombo o di zinco di che si covrono le tettoie si sollevano o si lacerano. E i tubi destinati a guidare le acque si piegano se di piombo, si spezzano se di ghisa, asportando i fermagli.

I quali fenomeni non debbono cagionare sorpresa: ei ci rivelano la intensità stragrande delle forze molecolari sviluppate nel cangiamento di temperatura. Invero la potenza, con cui una verga si allunga o si accorcia per innalzamento o per abbassamento di temperatura, è quella medesima richiederebbesi ad allungarla con trazione o ad accorciarla con pressione di una uguale frazione di sua lunghezza. Or di cotesta forza immensa si è fatta una ingegnosa applicazione. Allorchè i piè dritti d'una volta escono del loro piombo, dispongansi tra essi delle catene di ferro e si riscaldino a segno, che crescendo in lunghezza le loro teste si riducano sporgenti all'esterno: allora introducausi in queste delle ampie traverse, o meglio uniscansi loro a vite, e si allontani il fuoco: le verghe nel restringersi trarranno seco i piè dritti e li ricondurranno al loro posto (*).

Pendoli a compenso. La più ingegnosa ed utile applicazione della conoscenza de' coefficienti di dilatazione, è stata la invenzione dei pendoli compensati. È noto che per essere costante la durata delle oscillazioni del pendolo fa d' uopo ne resti invariata la lunghezza (76). Ciò non accade al cangiar della temperatura; e però sin dal 1666 Picard avea osservato che il moto degli oriuoli a pendolo ritarda di està, si accelera d'inverno. Purtuttavolta solo molti anni dopo venne in atto la idea del pendolo detto *a compensazione*, nel

(*) Invenzione cotanto ardita e felice si attribuisce al francese Molard, il quale con tale mezzo ridusse in sito i piè dritti d'una maestosa sala nel Conservatorio di arti e mestieri di Parigi, di cui era egli direttore. Ma giustizia mi astringe a pubblicare quel che tra noi è notissimo, essere stato cioè l'illustre architetto nostro concittadino Giuseppe Califano il primo a valersi di un tale artifizio. Ei sin dal 1823 lo impiegò per rafforzare la Chiesa matrice di Casamicciola comune d'Ischia crollante pel tremuoto sofferto, e altre volte assai in appresso.

quale due dilatazioni o due contrazioni in senso opposto ne serbano inalterata la lunghezza.

Il primo pendolo di questa natura, e di tutti il più semplice fu eseguito nel 1715 da Graham orologiaio di Londra e membro della società reale. Alla verga di acciaio (fig. 188) è sospeso in vece di lente un cilindro di cristallo pieno di mercurio. È chiaro che allungandosi per cresciuto calore la verga, il centro di oscillazione tende ad abbassarsi, e per l'opposto la dilatazione del mercurio tende a sollevarlo; avviene il contrario se la temperatura si abbassa, ma sono sempre opposti i due effetti. I quali se vengano regolati in giusta proporzione da riuscire anche uguali, si sarà ottenuto l'intento. Tale uguaglianza si consegue da una determinata relazione tra l'altezza del cilindro di mercurio e la lunghezza della verga; l'esperienza c'insegna che quello deve essere presso a poco un decimo della lunghezza totale del pendolo.

Anche oggidì valenti meccanici inglesi, tra gli altri Shepperd e Henley, costruiscono i loro pendoli col compenso alla Graham, e raggiungono una perfezione che non si potrebbe maggiore.


Fig. 188.

Furon poscia ideati nel 1738 i pendoli a compenso interamente solidi da Giuliano Leroy insigne orologiaio francese, e da Ellicot a Londra. Un pendolo di questa natura è rappresentato dalla fig. 189, e'l principio su cui ne è fondata la costruzione è il seguente. La lente metallica è sospesa mediante un sistema di verghe alternamente formate di due metalli inegualmente dilatabili, e congiunte così che mentre le une allorchè la temperatura s'innalza tendono a far discendere il centro d'oscillazione O, le altre il sollevano. Dalla ispezione della figura si comprende, che la lente si abbassa allorchè si allunga la verga a cui è congiunta immediatamente, non che le altre *c*, *d*, e insieme si alza per l'allungamento delle verghe alterne *n*, *c*. Debbono essere più lunghe quelle che àn minore il coefficiente di dilatazione, più corte le altre; e la ragione delle loro lunghezze è precisamente la inversa de' coefficienti di dilatazione. In questo caso la distanza del centro d'oscillazione da quello di sospensione rimarrà inalterata, e con la costanza di lunghezza sarà serbato anche l'iso-

cronismo del pendolo. Ad esempio il fatto ne ammaestra che, per avere una compensazione perfetta con verghe di ferro e di rame, le prime debbono stare alle seconde come 5:3; e come 5:4 se si adoperano verghe di acciaio e di ottone.

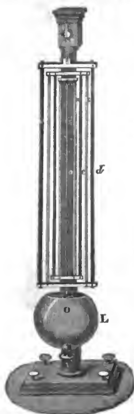
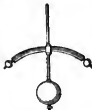
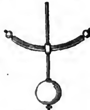


Fig. 189.

Giovano all' istesso scopo le *lamine compensatrici* introdotte da un altro orologiaio francese il Martin. Per comprendere la maniera di loro azione s'imagini annesso trasversalmente alla verga che sostiene la lente un sistema di due lamine rettilinee (fig.190), una di ferro, l'altra di rame, la prima di sopra l' altra di sotto saldate insieme, e agli estremi una massa metallica da' due lati come appendice. Allorchè la temperatura si abbassa, restringendosi inegualmente rame e ferro, e più quello che questo, il sistema rettilineo s'incurverà (fig. 191); il rame ne occuperà la parte concava, il ferro la convessa. In questo caso per l' accorciamento dell'asta del pendolo il centro di oscillazione si avvicinerebbe al punto di sospensione, ma per l'opposto se ne allontana abbassandosi le due appendici metalliche. Similmente allorchè la temperatura cresce l'asta del pendolo si allunga, ma la lamina compensatrice s' inflette in senso opposto (fig. 192); si elevano le masse, e con esse il centro di oscillazione. Paragonan-


Fig. 190.

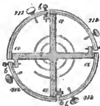

Fig. 191.


Fig. 192.

do le dilatazioni de' metalli impiegati si danno alle varie parti del-

l'istrumento le proporzioni, che producono una compensazione perfetta; e per fare de' saggi ed assicurarsi del riuscimento in breve tempo, si pone il pendolo in una stufa e si osserva se l'isocronismo si conserva a temperature più o meno elevate.

Negli orologi a molla il regolatore del moto è un bilanciere mosso da una molla spirale (fig. 193). Se cambia la temperatura, anche la elasticità della molla soffre alterazioni; e inoltre variando la distanza tra il centro di oscillazione e l'asse l'orologio ritarda o accelera. Per evitare questo inconveniente si fissano agli estremi del bilanciere le lamine compensatrici *ab*, *ab*,.., a cui van congiunte le piccole masse metalliche *m*,*m*...

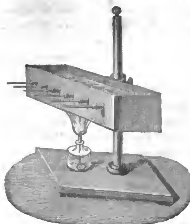

Fig. 193.

FACOLTA' CONDUTTRICE DE' CORPI PEL CALORE.

210. Conducibilità de' solidi. Un corpo può essere penetrato in due modi dal calore: o questo il traversa da strato a strato così che lascia in ciascuno gli effetti di sua presenza, val quanto dire riscaldamento e dilatazione; o pure trascorre per esso di repente senza lasciarvi traccia di sua azione. La prima maniera dicesi *conduzione*, e *buoni* o *cattivi conduttori* i corpi secondo che più o men facilmente un primo strato di molecole riscaldato, riscalda il secondo, questo il terzo, e così di seguito. La seconda è chiamata da Melloni *diatermasia*, e rassomiglia adequatamente la maniera di propagazione della luce. Tratteremo in seguito di questa, occupiamoci ora della conduzione.

Molti fisici si sono studiati determinare il diverso grado di *conducibilità* o *facoltà conduttrice*, o *deferenza* che voglia dirsi ne'varl corpi. Nel 1789 Ingenhousz medico olandese usò l'apparecchio che porta il suo nome per definirla ne' solidi; il qnale (fig. 194) consiste in una scattola quadrangolare di latta con entrovi acqua; a una sua parete sono fissate solidamente per mezzo di corrispondenti cannelli e sugheri delle verghe de' varl corpi da saggiare, le qnali penetrano anche d'alquanti millimetri nell' interno della scattola: sono rivestite d'uno strato sottile di cera, il cui punto di fusione è a 65°. Portando l'acqua sino alla temperatura della ebollizione si riscalderanno più o meno le verghe secondo la loro natura, e si

fonderà il rivestimento di cera a maggiore o minore distanza a norma di loro conducibilità. Non è difficile però avvedersi delle molte imperfezioni di tale istrumento.


Fig. 194.

Poscia Despretz paragonò tra loro i poteri deferenti de'solidi riducendoli a forma di verghe delle stesse dimensioni, che ricoprì d'una medesima vernice nera, per fare uguali in tutti l'assorbimento e'l raggiamento calorifico. Collocatele orizzontali le espose da un lato alla medesima sorgente, e misurò il calore condotto per mezzo di termometri disposti ad uguali intervalli, con i bulbi in piccole cavità praticate nelle verghe e piene di olio o di mercurio (fig. 195). Ecoo il risultamento

Oro	1000.0	Stagno. . . .	303,9
Argento . . .	973,0	Piombo . . .	179,6
Rame	898,0	Marmo. . . .	23,6
Ferro	374,3	Porcellana . . .	12,2
Zinco	363,0	Terra di fornelli . .	11,4


Fig. 195.

Fourier erasi servito d'un suo strumento detto *termometro a contatto*; ed era un serbatoio chiuso inferiormente con membrana,

e pieno di mercurio, nel quale era immerso un termometro. Le sostanze da saggiare eran ridotte in lamine sottili della medesima spessezza. Ciascuna successivamente veniva poggiata sovra un corpo a temperatura costante, per esempio sulla faccia d' un cubo di latta con acqua bollente, e le si sovrapponeva il serbatoio. È chiaro che la facoltà conduttrice delle varie lamine è proporzionale alla più o meno elevata temperatura finale indicata dal termometro.

Ultimamente Wiedmann e Franz nel 1853 àn misurato la temperatura delle verghe a varia distanza dalla sorgente termica per mezzo d'una coppia termoelettrica di piccolissime dimensioni, perchè togliesse il minor calore possibile da'vari punti, co'quali si ponea a contatto. Le conseguenze a cui pervennero, e sono quì riferite, differiscono non poco dalle precedenti di Despretz.

Argento	100.0	Acciaio. . . .	11,6
Rame	73,6	Piombo. . . .	8.5
Oro	53,2	Platino. . . .	8.4
Stagno	14,5	Lega fusibile di Rose .	2,8
Ferro.	11,9	Bismuto . . .	1,8

Non occorre avvertire che i numeri delle due serie non sono che relativi, e dippiù si riferiscono a due unità differenti nella prima e nella seconda.

È importante riflettere che ne'vari corpi l'ordine di conducibilità, la quale è proporzionale alla quantità di calore che passa per la loro sezione in un dato tempo, può essere ben diverso dalla maggiore o minore prontezza con che si riscaldano a condizioni uguali. Il riscaldamento è funzione pure della *capacità* pel calore. Fischer osservò che il platino ed il palladio si riscaldano prima dell'argento dell'oro e del rame, sebbene men buoni conduttori.

Teoria e leggi della propagazione del calore per conducibilità. Se si opera sur una verga metallica alla maniera di Despretz, mentre un estremo è esposto a sorgente costante di calore e il resto di sua lunghezza alla temperatura dell'ambiente, si osserva che da principio i termometri segnano una temperatura crescente; e ciò vuol dire che ogni falda riceve maggior calore di quanto o ne dà alla falda seguente o ne perde per la superficie libera; poscia si arrestano in quanto che ciascuno segna una temperatura invariabile, ma sempre minore, quanto più si scostano dalla sorgente.

Sarà dimostrato che il raggiamento del calore avviene non solo

dalla superficie, ma anche da punti alquanto sotto essa, e che la spessezza di questo strato raggiante varia secondo la natura dei corpi. Da ciò si è argomentato che la conduzione del calore avvenga pure per una maniera analoga di raggiamento molecolare da uno strato all'altro.

La temperatura finale stazionaria delle varie parti d'un corpo è regolata dalle leggi seguenti.

1.ª *Se le distanze dalla sorgente crescono in progressione per differenza, le temperature decrescono in progressione per quoziente.*

Questa legge fu scoverta da Lambert di Berlino, confermata con l'esperienze di Rumford e di Biot, e modificata poi da quelle di Despretz, il quale dimostrò che à luogo solamente per gli ottimi conduttori tra gli stessi metalli. Ci basterà riferire una sola di queste ultime che terrà luogo di dimostrazione. La verga era di rame in forma di parallelepipedo rettangolare a base quadrata di 21^{mm} di lato: la sorgente un lume inglese: la distanza tra essa e 'l primo termometro come pure fra gli altri, 1 decimetro. La temperatura dell'aere era 18°,08. L'esperienza durò sei ore, ma dopo tre ore circa i termometri divennero stazionarî: eccone le indicazioni.

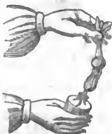
Termom. per ordine	1mo,	2,	3,	4,	5,	6
Temperatura finale	83°, 44:	63, 36:	49, 70:	41, 40:	35, 71	33, 26
Eccesso su quella dell'aria	66°, 36:	46, 28:	32, 62:	24, 82:	18, 63:	16,18

Or egli è chiaro che gli eccessi delle temperature finali su quella dell'aria ossia i termini della terza colonna costituiscono una progressione per quoziente, poichè dividendo ogni suo termine pel seguente si à un quoziente costante; infatti $\frac{66,36}{46,28}=1,4=\frac{46,28}{32,62}=$; come pure se la somma di due termini alterni si divide pel termine medio il quoziente è costante $\frac{66,36+32,62}{46,28}=2,14...$

2.ª *Nelle verghe d'una stessa natura e di varia grossezza le distanze dalla sorgente, alle quali la temperatura è la medesima, sono come le radici quadrate delle grossezze.*

Nè può così non essere, disperdendosi tanto più il calore quanto è maggiore la superficie esterna, ossia quanto la sezione è minore. Per questa ragione si tiene fra le mani impunemente un filo metallico sottile, che sia incandescente a pochi centimetri di distanza, e non uno di maggiore diametro.

211. Conseguenze ed applicazioni. Da tutte le esposte cose possiam concludere che i metalli posseggono in eminente grado la virtù conduttrice, ma con grande differenza dall'uno all'altro. Di quì la spiegazione di parecchi fenomeni. Una carta o un filo di canapa non bruciano se mentre ànno fuoco da una parte, dall'altra sono congiunti strettamente a una massa metallica: questa sottrae calore che mai non perviene al grado necessario alla combustione.Così avvolta con carta una palla di piombo a perfetto combaciamento (fig. 196), e fattovi un forellino con punta di spilla si sovrapponga ad una fiamma : ne gocciola il piombo fuso senza che la carta bruci.


Fig. 196.

Per somigliante cagione se sollevi dal fuoco vivo un recipiente metallico con entrovi acqua, potrai appressarvi impunemente la mano con sensazione appena di moderato calore : senza liquido il vedresti rovente.

Una stufa di ferro fuso è più atta a riscaldare l'appartamento che non una di maiolica: ed un fornello di mattoni varrà meglio a concentrare il calore, per esempio sovra un crogiuolo.

Ma la più utile applicazione di tale facoltà de'metalli è quella della *lampada di sicurezza* di Dawy, detta pure *de'minatori* perchè destinata a dar luce nelle miniere senza accendere l'idrogeno bicarbonato, che sovente vi si svolge,soprattutto in quelle di carbone , e tante volte scoppiando à cagionato la morte a migliaia di operai. In essa (fig. 197) la fiamma è circondata per tutto da rete metallica di filo di ferro o di ottone del diametro di 1/40 a 1/60 di pollice, e fitta così che in un pollice quadrato vi sieno almeno 750 aperture , come nell' alto della figura: di sopra poi dove la fiamma è più intensa la rete è raddoppiata. Ciò posto , se giunge la fiamma a contatto della rete,si spezza ad un tratto , perchè cede il calore ai fili metallici , e questi il disperdono , nè può mai riscaldare l'aria esterna quanto bisognerebbe per accenderla.


Fig. 197.

La porcellana e le altre terre cotte, il vetro, le rocce, il carbone

sono cattivi conduttori. Così pure le sostanze organiche in generale, e specialmente i legni. De la Rive e Decandolle rinvennero col metodo di Despretz, che la conducibilità de'legni è anche minore nella direzione perpendicolare alle fibre che nella parallela; essa diminuisce per gradi nell'ordine seguente: rovere, noce, quercia, abete, pioppo, sughero: i meno densi sono anche peggiori conduttori. Le lave de'vulcani sono tra i pessimi conduttori; laonde mentre qualche giorno dopo fluite si consolidano alla superficie e si raffreddano a segno da potervi camminare sopra senza danno o grave molestia, sono però ancor liquide e scorrono sotto la crosta, e conservano lungamente temperatura elevata (*). Accade per esse quel medesimo che sappiamo della crosta terrestre, la quale perchè mal conduce il calore preserva dal raffreddamento l'interno del globo, e impedisce che le alternative di temperatura diurne oltrepassino 1^m,2 di spessezza, e le annue 30 metri.

I cattivi conduttori valgono del pari a impedire che un corpo si raffreddi cedendo il proprio calore all'atmosfera, o si riscaldi ricevendone. Così serbiamo caldo un liquido in un recipiente rivestito di sughero, o anche formato a doppio fodero riempiendone l' intervallo con materie non conduttrici; e con lo stesso artifizio manteniamo a lungo il ghiaccio circondandolo di paglia, di segatura di legno, e simili. I canali ed i fiumi del Nord gelano solo alla superficie, perchè lo strato di ghiaccio, ch'è cattivo conduttore del calore, impedisce si raffreddi l'acqua sottoposta: il ghiaccio pure o la neve colà preservano il suolo da un eccessivo raffreddamento, e però non appena in primavera succede la loro fusione ed i semi germogliano. Pelli, seta, lana, cotone perchè peggiori conduttori del calore valgono in inverno a preservarci meglio dal freddo che non lino e canape: così pure un pavimento di legno anzi che uno di quadrella o di marmo. L'amianto è pessimo conduttore e dippiù è incombustibile; donde venne al cavalier Aldini la idea di formarne gli abiti de'pompieri per renderli illesi tra le fiamme. Si riducono pure incombustibili le tele, i legni, le carte rico-

(*) La grande corrente dell'Etna, che nel 1669 si ammassò presso le mura di Catania, spandeva ancora fumo otto anni dopo; fu osservato altrettanto dopo undici anni in quelle che sursero nel 1794 dalle falde dello Skapter-Yekul in Islanda. E senza ricorrere ad esempi lontani, tre anni dopo la famosa eruzione del Vesuvio del maggio 1855, la corrente di lava nel *fosso della Vetrana*, dove ebbe l'altezza di oltre 50 metri, segnava circa 300°.

vrendole d'uno strato di quelle vernici che al fuoco si vetrificano. Nel teatro di Monaco tutt'i materiali combustibili sono ricoverti di silicato di potassa. Per le tele si preferisce il fosfato di ammoniaca, il quale al fuoco si scompone, e perciò oltre lo strato di acido fosforico, di che il corpo rimane spalmato, si svolgono di gas ammoniacali inetti alla combustione.

212. **Facoltà conduttrice de' liquidi e degli aeriformi.** I fluidi in generale sieno liquidi sieno aeriformi ànno facoltà conduttrice pel calore così tenue, che molti valorosi fisici non giunsero a scoprirla e la negarono. In quanto ai liquidi Rumford argomentava dalle sue ricerche che ne fossero al tutto privi: poichè a tacere di altre non vide fondersi il ghiaccio in fondo a un tubo con acqua quando immergeva in essa un cilindro di ferro riscaldato a 100°; e neanco si fonde sensibilmente se inclinato il tubo ed appressata una lampada alla superficie dell'acqua, si riscaldi questa sino alla ebollizione, o le si versi sopra uno strato d'alcole e vi si faccia bruciare. Nondimeno se si sperimenta con accuratezza si scopre un potere deferente comecchè debolissimo. Difatti si colmi d'acqua o d'altro liquido alla temperatura dell'ambiente il vase BD (fig. 198), al cui fondo è un piccolo termoscopio a braccia ineguali: nella scattola di latta A si versi acqua bollente o altro liquido a temperatura più elevata, e dopo qualche tempo si osserva che l' indice *m* sale nel braccio minore del termoscopio: dunque l'aria dell'altra palla si è riscaldata. Così Nicholson e Pictet scoprirono che la penetrazione del calore è cinque volte più lenta nell' olio che nel mercurio; il quale risultamento è ben prezioso, poichè ne assicura che il moto del calore avviene per conduzione, e non per diatermaneità; tra perchè il mercurio è atermano, e perchè la trasmissione è poco men che istantanea.

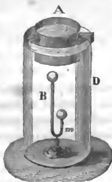


Fig. 198.

Il professore Hope dimostrava altrimenti che le molecole liquide aveano potere di cedere il loro calore le une alle altre. Agitava per lungo tempo due liquidi non atti a mescersi aventi temperatura diversa: determinava la temperatura del miscuglio, e la trovava uguale a quella che essi mostravano allorchè separavansi col riposo in due strati sovrapposti.

Nelle precedenti esperienze è necessario la sorgente di calore agisca d'alto in basso, essendo noto che se viene applicata di sotto tutta la massa liquida in breve tempo prende temperatura uniforme, ma non per conduzione, sì bene per quella specie di moto che dicesi *idrostatico*. Sottopongasi la fiamma ad un matraccio con acqua (fig. 199): questa riscaldata nel mezzo ascende, e lungo le pareti discende l' acqua fredda per occupare il posto della prima: il senso delle frecce indica la direzione del moto, il quale diventa più sensibile mescolando all' acqua sostanze insolubili d' un peso specifico presso a poco uguale a quello del liquido.

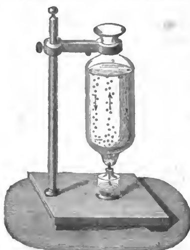


Fig. 199.

Gli aeriformi conducono il calore anche meno de'liquidi. Il celere riscaldarsi di tutta una massa aeriforme è dovuto alla somma rapidità con che le molecole riscaldate si allontanano dalla sorgente calorifica per cedere il posto alle altre: non sarà più così ove impediscasi questo moto e questa sostituzione. Rumford dedusse tale minima virtù conduttrice de' differenti aeriformi riempiendone un pallone, e paragonando il tempo che impiegava un termometro collocato nel suo mezzo per discendere da una temperatura elevata ad una più bassa con quello molto maggiore che richiedevasi allorchè era circondato da sostanze filamentose, le quali impedivano la libera circolazione delle correnti gassose. Noi profittiamo di questa proprietà de'gas, e per tener fresche di està e calde d'inverno le nostre abitazioni usiamo finestre duplicate: l'effetto è dovuto allo strato d'aria che rimane tra esse. Sembra che anche gli antichi avessero saputo giovarsene: la villa Adriana a Tivoli à le stesse mura duplicate. Similmente all'aria che si frammette tra le molecole de' corpi è dovuta per avventura la peggiore virtù conduttrice che ànno i filamentosi al paragone de' compatti: così la lana, la seta, il cotone, greggi sono men deferenti che se lavorati: la neve lo è assai meno del ghiaccio, e nel più

eminente grado i peli e le piume, donde l' uso de'piumini e delle ovatte.

Eccezione per l'idrogeno. Il solo idrogeno si comporta altrimenti dagli altri aeriformi in quanto conduce bene il calore. Valga per tutte la esperienza seguente. Per un filo di platino teso in un cannello di vetro passi una corrente elettrica che l'arroventi. La incandescenza persiste se all'aria del cannello si sostituisca una corrente di qualunque altro aeriforme, o se vi si faccia il vuoto; ma sparisce solo al passar dell'idrogeno, o altrimenti questo ne sottrae indefinitamente calore. Tale proprietà dell'idrogeno è conforme alle sue reazioni chimiche, nelle quali sostituisce i metalli: va numerato fra essi, ed è il solo che serbasi sempre aeriforme, come il solo mercurio è liquido a temperatura ordinaria.

FUSIONE E SOLIDIFICAZIONE

213. **Fusione e sue leggi.** Per aumento di calore un solido si dilata dapprima uniformemente, e poi con proporzione crescente, ma fino a un certo limite; allora cangia stato, si *fonde*, e *fusione* si chiama questo passaggio da solido a liquido.

Vi sono dei corpi che diconsi *refrattari*, i quali persistono solidi comunque la temperatura si elevi. Il loro numero era molto esteso un tempo, ma è andato diminuendo essendosi trovato come innalzar di più la temperatura. Le argille, e i crogiuoli o mattoni che se ne compongono, non sono refrattari che *relativamente* al calore delle fornaci. Lo stesso carbone, infusibile al più forte grado di calore dei fornelli, è divenuto flessibile per l'azione d'una potente corrente elettrica; il che indica già un rammollimento, ed un principio di fusione.

Ve n' à degli altri che si scompongono per minor calore del richiesto alla fusione. Tali sono ad esempio le sostanze organiche, le quali si risolvono in principi aeriformi. Il carbonato calcico si comporta com'esse: l'acido carbonico si sviluppa gassoso, e si à calce per residuo. Pur tuttavolta Hall è giunto a fondere il marmo impedendo con validissima pressione lo svolgimento dell'acido carbonico. Adunque a buon dritto possiam conchiudere che tutt'i solidi si fonderebbero se avessimo come produrre temperature più elevate, e mezzi acconci a impedirne la scomposizione.

Leggi della fusione. Nel passaggio dallo stato solido al liquido si osservano le seguenti leggi.

1.ª *La temperatura di fusione è costante per un medesimo corpo sotto la stessa pressione, variabile da un corpo all'altro.*

2.ª *Dall'istante in cui comincia la fusione di un corpo, la temperatura più non s'innalza, finchè tutto non è fuso,* sia qualunque la intensità della sorgente termica.

Temperatura della fusione di parecchi corpi.

Mercurio	— 39°	2 Stagno, 1 bismuto	158
Acido oleico	— 13	3 Stagno, 1 piombo	186
Olio di terebentina	— 10	4 Stagno, 1 piombo	189
Ghiaccio	0	2 Stagno, 1 piombo	196
Sego	33	5 Stagno, 1 piombo	194
Fosforo	44	3 Stagno, 1 bismuto	200
Acido acetico	45	1 Stagno, 1 piombo	241
Spermaceto	49	1 Stagno, 3 piombo	289
Potassio	55	Stagno	228
Acido margarico	57	Bismuto	264
Stearina	60	Piombo	335
Cera non imbiancata	61	Antimonio	458
Cera bianca	65	Zinco	500
Acido stearico	70	Bronzo	900
Sodio	90	Argento	1000
Lega 1 piombo, 1 stagno, 4 bism.	94	Oro	1200
2 piombo, 3 stagno, 9 bism.	100	Ghisa bianca	1050 a 1100
Iodo	107	—— grigia	1100 a 1200
Solfo	111	Acciaio	1300 a 1400
1 Stagno, 1 bismuto	141	Ferro-dolce	1580 a 1600

Dalla quale tavola si deduce che il punto di fusione di un corpo non à relazione invariabile con la densità. Wöhler à scoperto che i corpi dimorfi ànno due punti di fusione.

Calore latente di fusione. Dalla seconda legge s'inferisce, che se mentre dura la fusione il corpo rimane esposto alla sorgente termica, ne riceve al certo calore, il quale senza scaldarlo di più, tutto s'impiega in operarne la fusione. Or questo calore necessario affinchè continui e si compia la fusione di un corpo senza esser sensibile al termometro è detto *calore latente*, o *di fusione*. Gli Accademici del Cimento furono i primi ad eseguire la seguente esperienza: riempirono di ghiaccio trito un vase di piombo e lo immersero nell' acqua bollente : un termometro a contatto del

ghiaccio rimase costantemente a 0° finchè non si fuse del tutto. Ma la scoverta del calore di fusione nel 1758 è dovuta al dottore Giuseppe Black di Edimburgo. Questi mescolata una libbra di acqua a 0° con una a 75 ottenne due libbre di acqua a 37 1|2; ma fattosi poi a mescolare una libbra di ghiaccio a 0° con una d'acqua a 75 ne ebbe due libbre d'acqua a 0°. Adunque il calore emesso da una libbra d'acqua a 75 per discendere a 0° è appunto quello di che abbisogna una libbra di ghiaccio per fondersi; e perciò egli espresse con 75 il calore latente del ghiaccio. Più accurate ricerche eseguite nel 1843 da De la Provostaye e Desains, e finalmente anche da Regnault, il fissarono a 79,25.

Dicesi *caloria* la quantità di calore capace di elevare d'un grado la temperatura dell'acqua, in che la unità di ghiaccio si risolve. Adunque 79,25 calorie rappresentano il calor latente del ghiaccio.

Sperimentando con lo stesso metodo si ottengono risultamenti diversi su i vari corpi, come qui appresso è notato.

Nome delle sostanze	*Calorie*	*Nome delle sostanze*	*Calorie*
Fosforo	4, 71	Zinco	27, 46
Piombo	5, 15	Cera gialla	43, 51
Lega d'Arcet	5, 96	Cloruro di calcio idrato .	43, 79
Solfo	9, 17	Azotato di potassa . . .	46, 18
Bismuto	12, 40	Fosfato di soda	54, 65
Stagno.	14, 30	Azotato di soda	62, 98

Da queste differenze si rileva perchè alcuni corpi rapidamente si fondano, ed altri sieno più restii; dei primi è minore il calor di fusione. Per essere considerevole il calor di fusione del ghiaccio avviene che i massi di ghiaccio restino a lungo galleggianti ne' mari e ne' fiumi dopo i disgeli, e nell'Atlantico sieno trasportati dalle correnti polari fino a poca latitudine, e le teste delle ghiacciaie nelle valli diminuiscano lentamente di volume.

214. Miscele refrigeranti. Se un solido nel fondersi assorbe calore e la sua temperatura non si eleva, forza è conchiudere che un liquido abbisogna d'una maggiore quantità di calore per segnare la medesima temperatura che uguale quantità dello stesso corpo allo stato solido. Adunque se un solido si liquefà per altra cagione fuorchè per calore assorbito, anzi senza punto riceverne, conviene che la sua temperatura si abbassi. Di qui la teorica delle miscele refrigeranti. Mescolando neve e sal-comune, o ammoniaco, l'affinità scambievole produce la fusione della neve, e la

temperatura del miscuglio si abbassa; il quale fatto gli accademici del Cimento dissero *trito* ai tempi loro. Avviene il medesimo se si tratta la neve con altro sale, o con un acido; anzi neppure fa mestieri di neve, bastando il liquefarsi di qualunque solido.

Si osservi però che in tali esperienze due cagioni agiscono in contrario senso: imperocchè la fusione o la soluzione genera freddo, mentre per l'opposto l'affinità svolge calore. Si otterrà l'uno o l'altro effetto a norma che l'una o l'altra delle due cagioni è più potente; e se v'è compensazione la temperatura rimane inalterata. Or questa preponderanza dipende dalla quantità e dalla natura dei corpi. La relazione di quantità vien dimostrata dal vedere che aggiungendo a tre parti di neve una di acido solforico si abbassa la temperatura, e per converso s'innalza se unisconsi in parti uguali. Quanta sia poi la influenza della natura de'corpi si rileva dalla tavola seguente di *Miscele refrigeranti*.

1. *Neve e sali*

Neve. . . .	parti 2	— 20°
Salmarino . . .	1	
Neve.	5	— 24
Salmarino	2	
Sale ammoniaco . . .	1	
Neve	24	— 28
Salmarino . . .	10	
Sale ammoniaco .	5	
Nitro.	5	
Neve.	12	— 31
Salmarino	5	
Nitrato d'ammon. . .	5	

2. *Acqua e sali*

Acqua.	16	da + 10
Nitro	5	a — 12
Sale ammoniaco .	5	
Acqua.	16	da+10
Sale ammoniaco . .	5	a—16
Nitro	5	
Solfato di soda . . .	5	
Acqua.	1	da + 10
Nitrato d'ammon .	1	a — 19
Sotto-carb-sodico .	1	
Acqua.	1	da+10
Azotato di ammoniaca	1	a—16

3. *Acidi e sali*

Solfato di soda. .	3	da+10
Acido azotico diluito	2	a—19
Solfato di soda. .	8	da+10
Acido cloridrico .	5	a—17
Solfato di soda. . .		da+10
Sale ammoniaco . .		a—23
Nitro.		
Acido azotico diluito.		

Sono importanti le due osservazioni seguenti:

1.ª Se si scioglie in acqua un sale, o altro corpo non atto a idratarsi, o un idrato, si produce freddo; se un corpo adatto a idratarsi, si svolge calore. Ne porge un bel esempio il solfato di soda:

si versino parti uguali di questo sale cristallizzato, e dell'anidro, in due uguali porzioni di acqua: la soluzione del primo si raffredda, quella del secondo si riscalda; per che il solfato di soda fu detto *sale mirabile*.

2.ª Se la temperatura iniziale è più bassa, si ottiene anche un freddo più intenso, ma sino a un limite, nel quale più non opera l'affinità. Nelle miscele della prima serie l'effetto è lo stesso da qualunque temperatura si parte, perchè se è più elevata anche la affinità è più intensa. In generale il raffreddamento finale è tanto maggiore quanto più rapido il mescolamento.

Ne'paesi fra i tropici si preparano ghiaccio e sorbetti con miscele della seconda e terza serie facendo uso di apparecchi, nei quali vadan congiunte queste tre condizioni: velocità di mescolamento, contatto intimo della miscela col liquido da gelare, e minimo assorbimento di calore dall'esterno. Un d'essi è rappresentato dalla fig. 200. Il liquido si pone nel sistema di tubi *aa*, *bb*, *cc*,...,il quale applicatovi il coverchio G vien collocato nella scatola di legno AB con la miscela refrigerante, e si volge intorno all'asse DC con la manovella DE. La lastra sporgente GFC agita vivamente e rimescola le sostanze refrigeranti.

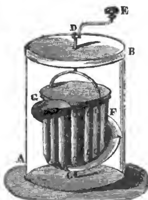


Fig. 200.

Fondenti. Son quelle sostanze, che rendono più facile la fusione di altre. Così la soda e la potassa sono fondenti della silice nella fabbricazione del vetro; e'l borato di soda agevola la saldatura de'metalli perchè ne fonde gli ossidi alla superficie. È effetto di affinità, la quale opponendosi alla coesione cospira colla virtù espansiva del calore. Anche per questa reazione una lega si fonde a temperatura più bassa de'suoi componenti. È singolare l'azione del solfo sul ferro: se poggi sopra grossa barra di ferro rovente un bastoncello di solfo, ne la vedrai di presente traforata.

215. Solidificazione de'liquidi. Nel passaggio d'un corpo fuso a stato solido si osservano le due seguenti leggi:

1.ª *La solidificazione succede per ogni liquido a temperatura fissa, che è la medesima di quella a cui il solido si fonde.*

Se alcuni liquidi, come l'alcole, l'etere e simili, àn resistito finora a solidificarsi, è da attribuire al non essersi ottenuto tanto abbassamento di temperatura quanto richiederebbesi. Purtuttavolta Despretz col freddo intenso prodotto dalla evaporazione d'un miscuglio di protossido d'azoto liquido, acido carbonico solido ed etere, è giunto a rendere consistente l'alcole così da capovolgere il vaso senza versarlo. Il primo a rendere solido il mercurio fu Braun a Pietroburgo nel dicembre 1759: era l'aria a—36°,6, ed egli usò un miscuglio di neve e acido azotico.

La costanza del punto di solidificazione o di fusione più non si avvera se la pressione non è costante. I Thomson àn dimostrato che il punto di congelazione dell'acqua si abbassa crescendo la pressione ; e Bunsen che quelli del bianco di balena e della paraffina si elevano. Parrebbe che la temperatura di fusione dei solidi coll'aumento di pressione crescesse o diminuisse secondo che fondendosi ne cresce o diminuisce il volume.

Con ciò rimane spiegato il fenomeno prodotto da Tyndall di dare al ghiaccio una forma a piacere col solo comprimerlo entro uno stampo, quasi fosse plastico. Poichè abbassandosi con la pressione il punto della fusione del ghiaccio sotto zero , una parte se ne fonde, e riempie la cavità dello stampo : con ciò la pressione scema, sale il punto di fusione, e gela di nuovo.

2.ª *Dall'istante in cui comincia la solidificazione sinchè è compiuta, la temperatura più non discende.*

Questa legge si avvera comunque sia bassa la temperatura de'corpi circostanti; e la ragione è riposta nel divenir libero durante la solidificazione il calore latente di fusione. Infatti si raffreddi d'alquanti gradi sotto 0° una scodella di ferro con mercurio, e vi si versi dell'acqua a 0°: questa di presente si agghiaccia, ma la temperatura comune sarà 0°, e potrà anche accadere che porzione dell'acqua non geli. Warrington à provato che cristallizzando una lega di 8 bismuto, 5 piombo, 3 stagno il termometro sale di 35°.

216. **Congelazione dell'acqua.** L'agghiacciarsi dell'acqua offre speciali fenomeni scoverti dagli accademici fiorentini.

1.° Se l'acqua è pura, e meglio se è privata d'aria con la ebollizione, e se ne impedisce il moto, è possibile mantenerla liquida parecchi gradi sotto 0°. Così Gay-Lussac potè conservarla sino a — 12.° Ciò vorrebbe attribuirsi all'equilibrio delle molecole attraentisi con uguale forza per ogni verso. In questo stato una lieve

agitazione, o un bricciolo che vi cada entro l'agghiaccia d'un subito e la fa saliro a 0°. Ogni cagione atta a impedire che le molecole si aggruppino con le leggi spettanti alle peculiari condizioni dello stato solido, ne vieta pure la solidificazione: tale è ad esempio una viva agitazione del liquido. Despretz in tubi capillari esilissimi serbò l'acqua liquida a — 20°.

Anche altri liquidi possono scendere sotto il punto di loro solidificazione, come lo stagno fuso, il solfo, il fosforo, e le stesse soluzioni saline. Così fatta una soluzione satura di solfato di soda in tubo assottigliato in cima, e bollitavela per cacciarne l'aria, si fonda l'estremo, e si chiuda; raffreddatasi si conserva liquida indefinitamente; ma rotta quella punta, e penetrandovi aria, o agitando il tubo, si solidifica di presente, e svolge calore. In somma l'acqua o altro liquido può scendere sotto il suo vero punto di congelazione senza solidificarsi; ma quel punto si ripristina, e resta costante, non appena la solidificazione è cominciata.

2.° Le materie straniere sospese nell'acqua impediscono che scenda liquida sotto 0°, mentre sciolte producono l' effetto contrario. Infatti l' acqua di mare gela a — 2°, 5, e una soluzione satura di cloruro di calcio è ancor liquida a — 40°.

3°. L'acqua ghiacciando cresce di mole; la densità del ghiaccio è 0, 922 di quella dell' acqua secondo il Bellani, e però galleggia sovr'essa. Anche altri corpi divenendo solidi aumentano di volume, come il bismuto, il piombo, il ferro, l' oro; e pare che possa stabilirsi questa legge generale:

Vi è dilatazione in quelle sostanze che solidificandosi prendono tessitura cristallina, restringimento nelle altre. Nè deve già credersi che le molecole solide sieno men dense delle liquide; ma quelle aggruppandosi nel cristallizzare lasciano de'vani, e però tutto il corpo acquista maggior volume.

È grande la forza, con che l' acqua nell' agghiacciare si dilata. Gli accademici del Cimento osservarono spezzarsi una palla di rame nell'atto di gelare l'acqua di che l'avevano piena; ed avea le pareti tanto grosse che secondo Muschenbroek sarebbe stata necessaria a frangerla una forza atta a sollevare 27520 libbre.

FORMAZIONE DE'VAPORI E LORO PROPRIETÀ.

217. **Passaggio de'corpi a stato aeriforme.** Il passag-

gio d'un corpo a stato aeriforme si dice in generale *vaporizzazione:* la quale può essere o lenta e tranquilla, e più particolarmente vien chiamata *evaporizzazione*, o pure rapida e tumultuosa ed à nome di *ebollizione*. Che i liquidi svaporino non fa bisogno dimostrarlo ; vediamo cento volte diminuire e poi dileguarsi all' intutto l'acqua, l'alcole, e simili. Ma pure i solidi dan vapore come canfora, muschio, arsenico. Si può dire che tutt'i corpi svaporino, ma alcuni anche a temperatura ordinaria, e diconsi *volatili*, altri solamente a temperatura elevata e si chiamano *fissi*; cosicchè queste denominazioni non son giuste, fuorchè in significato relativo.

Intorno alla cagione del ridursi un corpo in vapore regnò lungo tempo la opinione emessa da Muschenbroek e da Le-Roy nel 1751, che fosse dovuto ad una virtù dissolvente dell'aria. Ma dopo che il Cigna nel 1760 ebbe osservato accadere bene la evaporazione nel vuoto, e più rapida anzi che nell' aria, prevalse la sentenza che fosse effetto della sola virtù ripulsiva del calore. Se questa si limita ad alcuni punti superficiali dei solidi, ei si trasformano in vapore senza passare per lo stato liquido.

La forza con cui i vapori si spandono, e premono i corpi circostanti dicesi *tensione*, ed è la elasticità propria del loro stato (148).

218. **Evaporazione e tensione de'vapori nel vuoto.** Ad una campana di cristallo si aggiusti di sopra un imbuto con chiave, donde il liquido non possa uscire che a gocce ; e collocatala sul piatto della macchina pneumatica, ed estrattane l' aria , si osserverà che ciascuna stilla sparisce in quel che cade, ossia si trasforma in vapore. Succede il medesimo se facciasi uso del barometro, il quale inoltre si presta bene alla misura della tensione de'vapori, e vale a dimostrare le seguenti leggi :

1.ª *Nel vuoto i liquidi si trasformano d'un tratto in vapore.*

2.ª *Alla stessa temperatura i vapori de' varî liquidi posseggono tensione diversa.*

3.ª *Un dato spazio non può contenere ad una certa temperatura che determinata quantità di vapore.*

4.ª *I vapori finchè lo spazio non è saturo, si condensano e si dilatano al pari degli altri aeriformi secondo la legge di Mariotte.*

Abbiasi infatti un sistema di barometri alla Torricelli A,B,D,E, (fig. 201) a largo pozzetto: serbisi intatto il primo A, e con pipetta a becco ricurvo introducansi delle gocce liquide negli altri, per esempio di acqua in B, di alcole in D, di etere in E. Questi liqui-

di più leggieri del mercurio il traversano ascendendo, e pervenuti in cima nel vuoto all' istante spariscono, cioè si convertono in vapori; nell'istesso tempo le colonne barometriche si deprimono, val quanto dire sono spinte in giù dalla tensione de'vapori formatisi, ma inegualmente ne' varî barometri: paragonando sulla scala comune C le altezze residue all'altezza normale di A si avrà la misura delle depressioni, ossia della forza elastica de'differenti vapori. Rimane con ciò dimostrata la prima e la seconda legge.

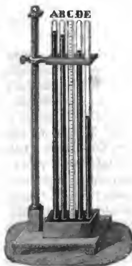


Fig. 201.

Si osserva inoltre che le prime gocce liquide introdotte in un barometro si svaporano tutte, e così pure le seconde e le terze, ma fino ad un certo limite, raggiunto il quale il nuovo liquido galleggia sul mercurio, e più non si svapora: a quel punto lo spazio ne è *saturo*. Similmente da principio ad ogni nuova goccia di liquido trasformatasi in vapore la colonna barometrica sempreppiù diminuisce di altezza, o altrimenti con la densità del vapore se ne accresce la tensione; ma quando lo spazio è saturo la colonna barometrica à raggiunto il massimo di depressione, e ciò significa che il vapore à acquistato il *massimo di forza elastica*. Adunque spazio saturo di vapore e vapore al massimo di tensione sono due fatti che vanno insieme, ed è indizio di entrambi la presenza costante del liquido. È questa la dimostrazione della terza legge e della quarta.

Tali conseguenze si rendono più evidenti adoperando l'apparecchio destinato a dimostrare la legge di Mariotte per le pressioni minori di un' atmosfera (153,2°), ossia un barometro a pozzetto molto profondo. Introdottovi alcun poco di liquido, per esempio di etere, e vedutolo trasformare tutto in vapore, si sollevi alquanto il tubo dal pozzetto o vi s'immerga dippiù. Nel primo caso la colonna barometrica si alza, nel secondo si abbassa; ossia col crescere il volume d'un vapore la sua tensione diminuisce, e per converso diminuendo il volume se ne aumenta la tensione; è questa appunto la legge di Mariotte. Se non che continuando ad im-

mergere più il tubo nel pozzetto si giunge a un termine, nel quale la colonna barometrica più non si deprime: apparisce allora l' etere galleggiante sul mercurio, e cresce con la immersione. Ciò significa che lo spazio è saturo, che il vapore è al massimo di tensione; e però si trasforma in liquido anzi che aumentare di densità e di forza elastica.

219. Tensione de' vapori alle diverse temperature. La tensione d'un vapore è funzione della temperatura, e deve essere determinata con varii metodi tra i differenti limiti. Ci occuperemo specialmente del vapor d' acqua; ma non altrimenti si procederebbe per gli altri liquidi.

1.° *Tensione del vapore d' acqua sotto 0°.* Per le basse temperature Gay-Lussac à fatto uso di due barometri; in uno la porzione del tubo ov'è il vuoto si piega alquanto e s'immerge in un serbatoio con miscuglio refrigerante e un termometro: s' introduce al solito l'acqua nel pozzetto, e quando lo spazio è saturo di vapore si misura la differenza delle colonne di mercurio tra questo e 'l barometro modello. Nella quale esperienza non fa bisogno che tutto il vuoto barometrico sia raffreddato del pari, poichè ad avere l'equilibrio di una massa vaporosa in vasi comunicanti, e in generale in uno spazio qualunque a diverse temperature, si richiede ne sia uniforme la tensione, cioè uguale al suo valore minimo, che corrisponde alla temperatura più bassa.

2.° *Tensione tra 0° e 100°.* Tra i limiti 0° e 100° la tensione del vapor d'acqua fu misurata da Dalton coi due barometri, un dei quali serve di modello, nell'altro l' acqua si trasforma in vapore. Sono essi circondati da un largo tubo di vetro che s'immerge nel pozzetto comune e si riempie d' acqua: questa è sostenuta dal mercurio sottoposto per la differenza di densità: una sorgente di calore applicata al pozzetto riscalda tutto il sistema alla temperatura che si vuole, e ogni volta ottenuto l'equilibrio si nota la tensione massima.

Regnault à immerso il sistema di tubi sino alla sommità in una cassa di lamine di ferro con acqua, di cui una parete è di cristallo per osservare attraverso le variazioni delle altezze barometriche.

3.° *Tensione del vapor d'acqua sopra 100°.* Nell' apparecchio di Dalton la colonna barometrica abbassandosi col crescere della temperatura, perviene finalmente al livello del mercurio nel pozzetto; ed è precisamente quando l'acqua bolle. Avviene il medesimo qua-

lunque sia il liquido messo a prova : nel cominciare a bollire , le altezze del mercurio nel barometro e nel pozzetto si pareggiano. Ciò vuol dire che la tensione massima del vapore di qualsiasi liquido bollente è uguale alla pressione atmosferica.

Laonde quell'apparecchio non è adatto allo scopo sopra 100°. Ma può usarsi in sua vece il lungo tubo di Mariotte (153,1°). Vuotato d'aria il ramo corto e chiusolo vi s'introduce acqua, poi mercurio, e s'immerge in un bagno d'olio, che man mano si va riscaldando: l'acqua si trasforma in vapore, di cui crescendo la tensione fa d'uopo aggiungere mercurio pel ramo lungo, affinchè il vapore non si disperda; la differenza tra le colonne di mercurio nei due rami misurerà la forza elastica del vapore.

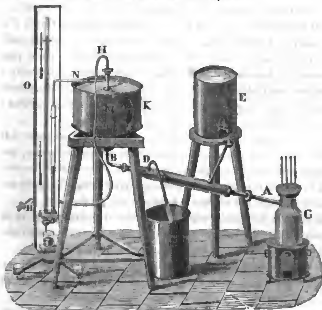


Fig. 202.

Dulong e Arago facevan venire il vapore dalla caldaia ad un serbatoio di ghisa tutto chiuso contenente mercurio: un manometro ad aria compressa dava la tensione del vapore per tutte le temperature dell'acqua insieme e del vapore della caldaia.

4.° *Metodo di Regnault per qualunque temperatura.* Regnault si è occupato anch'egli di misurare la tensione del vapor d'acqua. Il suo apparecchio (fig. 202) vale per le temperature inferiori e su-

periori a 100°. Il vapore si svolge dal vase di rame C con acqua: quattro termometri che traversano il coverchio ed immergonsi due negli strati inferiori del liquido, due ne' superiori, ne indicano la temperatura. Il vapore per AB è menato nel pallone di vetro M della capacità di 24 litri, dal quale partono due tubi: un d' essi N fa capo ad un manometro ad aria libera O, l' altro HH' va congiunto o ad una macchina pneumatica o ad una di compressione, secondo che vuolsi dilatare o comprimere l' aria interna. Da ultimo il pallone M è contenuto in un refrigerante K alla temperatura dell'ambiente, e 'l tubo AB è rivestito d'un fodero, pel quale circola durante la esperienza una corrente d'acqua fredda, che scende dalla vasca E e si versa pel cannello D.

Voglia ora determinarsi la tensione del vapore sotto 100°. Congiunto il tubo HH' con una macchina pneumatica si rarefà l' aria del vase C, e renduta minore di un'atmosfera la pressione sull'acqua, questa bolle a temperatura tanto più bassa, quanto piace, secondo verrà dimostrato. Nè può d' altra parte accrescersi tale pressione per l'addensamento del vapore, poichè questo passando per AB ritorna in parte allo stato liquido, e ricade in C, con che rimane costante la pressione del vapore residuo.

Se poi si tratta di temperature superiori a 100°, si pone il tubo HH' in comunicazione con una macchina di compressione, mercè la quale addensata l'aria, se ne accresce la pressione sull'acqua del vase C. Allora il punto di ebollizione è ritardato, e 'l vapore acquista temperatura più elevata e tensione più valida.

In tutta la serie delle esperienze convien guardare da un lato i termometri, la cui indicazione deve ridursi costante, e dall'altro il manometro, che darà la tensione corrispondente.

Veramente nell'apparecchio di Regnault la elasticità del vapore da principio opera di concerto con quella dell'aria; ma vedrem tra breve (222) non essere perciò meno esatte le illazioni.

Tavole delle tensioni del vapor d'acqua tra —20° e +266° espresse in millimetri di mercurio; v'è pure la relazione tra il suo volume e quello di egual peso di acqua liquida.

TAVOLA PRIMA

TENSIONE DEL VAPOR D'ACQUA E SUO VOLUME TRA — 20° e + 100°.

Temperat.	*tensione*	*volume*	*Temperat.*	*tensione*	*volume*
— 20	1,333	650588	42	58,792	18469
— 15	7,879	470898	43	61,958	17572
— 10	2,631	342984	44	65,627	16805
— 5	3,660	251358	45	68,751	15938
0	5,059	182323	46	72,393	15185
1	5,393	174495	47	76,285	14462
2	6,748	164332	48	80,195	13809
3	6,123	154842	49	84,370	13154
4	6,823	145886	50	88,742	12546
5	6,947	137488	51	93,301	11971
6	7,396	129587	52	98,075	11424
7	7,871	122241	53	103,060	10901
8	8,375	115305	54	108,270	10404
9	8,909	108790	55	113,710	9946
10	9,475	102670	56	119,390	9510
11	10,074	99202	57	125,310	9082
12	10,707	91564	58	131,500	8680
13	11,378	86426	59	137,940	8033
14	12,087	81686	60	144,660	7937
15	12,837	77008	61	151,700	7594
16	13,630	72914	62	158,960	7267
17	14,460	68923	63	166,560	6957
18	15,353	65201	64	174,470	6662
19	16,288	61654	65	182,710	6382
20	17,314	58224	66	191,270	6114
21	18,317	55206	67	200,180	5860
22	19.417	52260	68	209,440	5619
23	20,577	49487	69	219.060	5386
24	21,805	46877	70	229,070	5167
25	23,090	44411	71	239,450	4957
26	24,452	42084	72	250,230	4759
27	25,881	39595	73	261,430	4569
28	27,390	37838	74	273,030	4387
29	29,045	83796	75	285,070	4204
30	30,643	34047	76	297,570	4048
31	32,410	32291	77	310,490	3891
32	34,261	30650	78	323,890	3741
33	36,188	29112	79	337,760	3599
34	38,254	27636	80	352,080	3462
35	40,404	26253	81	367,000	3331
36	42,743	24897	82	382,380	3206
37	45,038	23704	83	398,280	3087
38	47,579	22513	84	414,730	2973
39	50,147	21426	85	431,710	2864
40	52,998	20343	86	449,260	2760
41	55,772	19396	87	467,380	2660

88	486,090	2565	95	634,270	2005
89	505,3[illegible]0	2474	96	658,050	1938
90	525,280	2387	97	682,590	1873
91	545,808	2304	98	707,630	1812
92	566,950	2224	99	735,460	1751
93	588,740	2148	100	760,000	1696
94	611,180	2075			

TAVOLA SECONDA

TENSIONE DEL VAPORE SOPRA 100° DA UN'ATMOSFERA A 50 E SUO VOLUME.

Temperat.	*tensione*	*volume*	*Temperat.*	*tensione*	*volume*
100,0	1	1696,00	193,7	13	163,74
112,2	1,5	1167,80	197,7	14	153,10
121,4	2	897,00	200,5	15	144,00
128,8	2,5	731,39	203,6	16	135,99
135,1	3	619,19	206,6	17	128,71
140,6	3,5	537,96	209,4	18	122,28
145,4	4	476,26	212,1	19	116,51
149,1	4,5	427,18	214,7	20	111,28
153,1	5	388,16	217,2	21	106,53
156,8	5,5	355,99	219,6	22	102,10
160,2	6	328,93	221,9	23	98,21
163,5	6,5	305,98	224,2	24	94,56
166,5	7	286,12	226,3	25	91,17
169,4	7,5	268,82	236,2	30	77,50
172.1	8	253,59	244,8	35	68,20
177,1	9	227,98	252,5	40	60,08
181,6	10	207,36	259,5	45	54,06
186,0	11	199,27	265,9	50	49,31
190,0	12	175,96			

Da queste tavole è facile inferire che la tensione del vapore cresce in ragione molto più rapida delle temperature.

220. Tensione de' vapori de' varii liquidi. Veramente la tensione del solo vapor d'acqua per le sue importanti applicazioni è stata studiata più profondamente dai fisici. Degli altri liquidi sappiamo che se trattasi di soluzioni acquose acide o saline il più delle volte la tensione del vapore è minore che quella dell'acqua pura a temperatura eguale. Inoltre dal pareggiarsi le tensioni de' vapori de' varî liquidi bollenti, Volta nel 1794 ne inferì la seguente legge malamente attribuita a Dalton: che *a temperature equidistanti dai rispettivi punti di ebollizione fossero uguali le tensioni de' vapori*. Così il vapore d'etere, che bolle a 37°, avrebbe a 100°, cioè 63 gradi sopra l'ebollizione, la stessa forza elastica che il vapor d'acqua a 163°, ossia d'oltre sei atmosfere; ed a 0° cioè 37

gradi sotto l'ebollizione la tensione del vapor d'acqua a 63° cioè 167^{mm}. Siffatta legge però non si avvera con esattezza, sovrattutto a temperature molto lontane dalla ebollizione. Era perciò a desiderare che si formassero delle tavole per le tensioni dei vari liquidi in vapore come per l'acqua alle diverse temperature, almeno de' più comuni. In questo genere abbiamo il seguente lavoro di Avogadro fatto in Torino nel 1832 riguardo al mercurio:

Temperat.	230°	240	250	260	270	280	290.
Tens. in mill.	58,01.	80,02.	105,88.	133,62.	165,22.	207,59.	252,51.

Ultimamente Regnault à esteso le sue ricerche a' vapori di altri liquidi; eccone un saggio:

Temperatura	Alcole	Etere	Solfur. di carb.	Ess. di tereb.
— 20°	mill. 3, 34	69, 2	....	....
— 10	6, 50	113, 2	79, 0	....
0	12, 73	182, 3	127, 7	2, 1
10	24, 08	286, 5	199, 8	2, 3
20	44, 0	434, 8	198, 2	4, 3
30	78, 4	637, 0	434, 6	7, 0
40	134, 1	913, 6	617, 5	11, 2
50	220, 3	1268, 0	852, 7	17, 2
60	350, 0	1730, 3	1162, 6	26, 9
70	539, 2	2309, 5	1549, 0	41, 9
80	812, 8	2947, 2	2030, 5	61, 2
90	1190, 4	3899, 0	2633, 1	91, 0
100	1685, 2	4920, 4	3321, 3	134, 9
120	2351, 8	7249, 0	4136, 3	187, 3
130	2207, 8	....	5121, 6	257, 0
140	4341, 2	....	6260, 6	347, 0
150	5637, 7	....	....	462, 3

221. **Densità de' vapori.** *Densità d'un vapore* è la relazione tra il peso d'un dato volume di vapore e quello di egual volume di aria atmosferica, a temperatura e tensione uguali. Adunque per determinare la densità del vapore d'acqua bisogna conoscerne il peso, il volume, la temperatura e la tensione; e v'à due metodi: col primo si misura il volume occupato da un peso di acqua trasformata in vapore; col secondo si determina quanto peso di acqua richiedesi perchè cangiata in vapore riempia un dato spazio.

Metodo di Gay-Lussac. Gay-Lussac si valse d'un tino di ghisa con

entro mercurio, nel quale era immersa un'ampia provetta di vetro graduata, chiusa in alto, e piena pure di mercurio: questa è circondata d' un largo cilindro di vetro colmo d' acqua o di olio che galleggiano sul mercurio, e per mezzo d'un fornello sottoposto al tino si portano alla temperatura che occorre. Una picciola ampolla di vetro a pareti esili e assottigliata ad un estremo, dopo averne determinati peso e volume, si riempie del liquido sottoposto a prova; e chiusala alla lampada si pesa di nuovo. Sarà noto a questo modo il peso e' l volume del liquido. S'introduce allora l' ampolla nella provetta, e si riscalda il bagno sinchè il vapore generatosi rompe l' ampolla e si spande deprimendo il mercurio; nel che è necessario aspettare che tutto il liquido convertasi in vapore. Un termometro indica la temperatura del bagno, e quindi anche del vapore: sulla scala se ne legge il volume; finalmente si à la tensione, sottraendo dall'altezza barometrica l'altezza del mercurio nella provetta.

Così operando si ottiene la relazione tra i volumi del vapore e del liquido (219). Ove poi si calcoli quale sarebbe la densità dell'aria a temperatura e pressione uguali, se ne inferisce la densità o il peso specifico del vapore; e fu trovato da Gay-Lussac essere uguale a 0,622, o presso a poco 5/8.

Cotesto metodo è buono pe'liquidi che bollono a temperature inferiori a 160°. Se il mercurio del bagno dovesse riscaldarsi più oltre, il suo vapore spandendosi all'esterno sarebbe nocivo alla respirazione, e mescolandosi al vapore della provetta renderebbe i risultamenti erronei; inoltre neanco può servire pe'liquidi che esercitano azione sul mercurio. In tali casi vale meglio il segnente

Metodo di Dumas. Si dissecchi esattamente un pallone di vetro di 250 a 500 centimetri cubici di capacità, e che abbia il collo tirato in punta sottile. Si pesi nell'aria, e poi introdottavi una sufficiente quantità di acqua o d'altro liquido si fissa solidamente in un bagno d'acqua o d'olio: si scaldi, e allorchè tutto il liquido è convertito in vapore si chiude; si nota in quell'istante la temperatura del bagno, e l'altezza barometrica; quindi ascingato bene il pallone si pesa di nuovo; dall'eccesso del secondo peso sul primo si avrà con le debite correzioni il peso del vapore: dalla capacità del pallone si determina il volume del vapore, e'l peso d'eguale volume di aria.

Densità dei vapori ne'vasi aperti e ne'chiusi. Col processo di Dumas potendo determinarsi la densità de'vapori alle varie tempera-

ture, viene a scovrirsi del pari se essi dilatansi uniformemente al crescere della temperatura. Ciò sembra accadere pei vapori di acqua, di alcole, di etere, di solfuro di carbonio; e conseguentemente la ragione di loro densità a quella dell'aria è costante nelle medesime circostanze: inoltre sono anco compressibili secondo la legge di Mariotte. Ma per altri vapori succede l'opposto. Infatti secondo Cahours la densità dell'acido acetico è 3,20 a 125°, e solo 2,09 a 230°, oltre il quale grado rimane costante. Similmente secondo Bineau la densità del vapore di acido solforico è 2,24 a 345°, mentre dal grado 416 in su è solamente 1,73.

Sia o pur no regolare la dilatazione dei vapori in recipiente aperto, la loro densità divien sempre minore con l'aumento di temperatura. Non è più così in uno spazio chiuso, trasformandosi novella quantità di liquido in vapore, si accresce la elasticità insieme con la densità e la temperatura. Caguard-Latour introdusse varî liquidi in tubi di vetro, e chiusili e innalzatane la temperatura, a un certo grado di calore li vide sparire all' intutto: convertironsi cioè in vapori, di cui la densità avea la medesima ragione a quella dei liquidi corrispondenti, che la porzione dei tubi da questi occupata alla intera loro capacità. L'etere solforico si riduce completamente in vapore a 200° in uno spazio men che doppio del proprio, e la tensione del suo vapore è di 38 atmosfere; l'alcole invece a 250° in uno spazio triplo del primitivo con tensione di 113 atmosfere; l'acqua poi a 500, e'l suo vapore occupa uno spazio quadruplo.

222. **Miscuglio dei vapori e dei gas.** Tutte le discorse cose àn luogo nella ipotesi d'un vapore svolgentesi in uno spazio vuoto. Dalton fu il primo ad enunciare la legge con cui si forma il vapore attraverso un gas col quale non esercita chimica azione; la legge porta il suo nome, ed è la seguente:

La tensione d'un vapore, e però la quantità che satura un certo spazio pieno di aeriforme, col quale non esercita chimica azione, sono le medesime a temperatura uguale, che nel vuoto.

Adunque un vapore agisce ugualmente in uno spazio sia vuoto, sia pieno di altro gas, tranne che nel primo caso si svolge più rapidamente: inoltre le mescolanze dei vapori e dei gas avvengono allo stesso modo che quelle degli aeriformi in generale (162).

L'apparecchio di Gay-Lussac si presta bene a dimostrare la legge di Dalton. È una larga canna di vetro A (fig. 203), che à accanto e unito in giù un tubo sottile anco di vetro B, e più lungo. Son

tenuti entrambi in posizione verticale, e raccomandati al medesimo sostegno. La canna A finisce in alto e in basso con due chiavi di acciaio *b*, *d*, alla prima delle quali possono unirsi a vite l'imbuto C, o il globo di cristallo M, muniti anche essi di chiavi. Da principio chiusa la chiave *d* si sovrappone l'imbuto e per esso si riempie la canna A di mercurio, il quale ascende alla stessa altezza nel tubo B. Chiusa poscia la chiave *b* si sostituisce all'imbuto il globo M contenente aria o altro aeriforme ben secco; e aperte non solo le chiavi superiori, ma anche la inferiore *d*, mentre per essa si versa il mercurio della canna, vi s' introduce alquanto d'aria secca. Allorchè il volume di questa si crede sufficiente, si chiudono le tre chiavi; e perchè l' aria interna si è ridotta men densa della esterna, si aggiunge mercurio pel tubo B; finchè divenute uguali le altezze di esso nei due rami, l'aria chiusa abbia la elasticità della esterna.

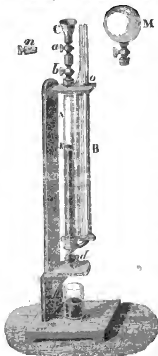


Fig. 203.

Ciò fatto, si rimette l'imbuto C al suo posto; il quale però abbia la chiave *a* forata solamente a metà, com'è in *n* di lato nella figura. Tale forma è adatta ad introdurre nella canna goccia a goccia il liquido che deve trasformarsi in vapore, riempiendone ogni volta la cavità della chiave, a cui poi si fa compiere mezza rotazione. Quando un'ultima goccia resta galleggiante sul mercurio in *k* senza volatilizzarsi, l'aria interna ne è satura; e perchè man mano si è veduto abbassare il livello *k*, e l'altro *o* sollevarsi, si aggiunga mercurio per B finchè il livello interno riducasi qual'era da principio. Ottenuto così l'equilibrio, la differenza tra le colonne di mercurio ne'due rami, la quale misura la elasticità del vapore misto all'aria, è precisamente uguale al valore della tensione massima, che à lo stesso vapore nel vuoto ad ugual temperatura.

Con lo stesso apparecchio potrebbe anche misurarsi quale au-

mento di volume acquisti un aeriforme allorchè divien saturo di vapore sotto una pressione costante. Converrebbe a tal uopo, dopo che l'aeriforme è saturo, aprire la chiave *d*, e farne scorrere tanto di mercurio, che le due colonne divenissero uguali.

Osservazioni di Regnault. Le ricerche di Regnault lo àn condotto allo scovrimento di parecchi fatti importanti.

1.° *Eccezione alla legge di Dalton, e sua cagione.* Nell'aria e nell'azoto il vapore d'etere à tensione massima alquanto minore che nel vuoto: altrettanto si osserva pe'vapori di acqua e di solfuro di carbonio. Ciò è da attribuire alla influenza delle pareti del recipiente, sulle quali precipita una frazione di vapore. Quello che si trova nel miscuglio avrà forza elastica minore di quanta ne avrebbe alla stessa temperatura, se nella unità di tempo fosse più copioso il vapore che sparisce liquefacendosi di quello che si produce. Nel vuoto per la rapidità della evaporazione è nulla la influenza delle pareti.

2.° *Tensione dei vapori di liquidi mescolati.* Se svolgonsi insieme e in un medesimo spazio vapori da più liquidi mescolati, che non esercitano azione chimica scambievole, le singole tensioni sono indipendenti tra loro ossia la forza elastica del miscuglio vaporoso è uguale alla somma delle tensioni dei due vapori separati: sono in questo caso acqua e benzino, acqua e solfuro di carbonio. Ma ben altrimenti succede anche quando i due liquidi non esercitano altra mutua azione fuorchè quella di sciogliersi l' uno nell'altro: la legge di Dalton si altera a segno che talvolta la tensione de'due vapori è perfino minore di quella di un solo.

Assai più considerevole è la differenza allorchè i liquidi esercitano scambievole azione chimica. Questo si avvera per le soluzioni acide o saline. In generale a data temperatura la tensione d'un vapore di liquido volatile avente in soluzione una sostanza fissa, si trova minore di quella che avrebbe se fosse solo; tanto è maggiore la differenza quanto più copiosa la sostanza fissa.

3.° *Peso del vapor d'acqua mescolato all'aria.* Regnault à eseguito esperienze dirette per dimostrare col fatto essere la medesima la quantità in peso d'un vapore che satura uno stesso spazio vuoto o pieno di altro aeriforme a temperatura costante. Il suo ordigno consiste in un serbatoio colmo d'acqua munito inferiormente di chiave, e di sopra congiunto per ordine con due tubi ad U ripieni di pomice imbevuta di acido solforico concentrato; e poi con

un sistema umettante composto d'una campana con entro un sacco di tela perennemente bagnato, ed un globo contenente delle spugne pregne d'acqua. Quel serbatoio, versandosene acqua, opera da aspiratoio: l'aria nel traversare il sistema umettante divien satura di vapore, e poi del tutto lo abbandona nel primo dei due tubi a U; perciò la quantità di vapore si à dalla differenza de'due pesi prima e dopo l'esperienza. Il secondo tubo disseccante impedisce l'accesso al vapore che s'innalza dall'aspiratoio.

Allorchè l'aria penetra nell'aspiratore diviene satura di bel nuovo: epperò se trovansi costanti e pressione e temperatura, quali erano da principio, lo sarà pure il volume. Ciò vuol dire che la quantità d'acqua determinata in peso come è detto, rende saturo uno spazio pari alla intera capacità dell'aspiratore.

Regnault à eseguito queste esperienze per tutt'i gradi tra 0° e 25, e sempre à trovato che a temperatura e pressione uguali il peso del vapore che satura un dato volume di aria, è 0, 6226, ossia 5|8 del peso di ugual volume di aria secca. Or questa appunto è la densità del vapore d'acqua nel vuoto; adunque nelle stesse proporzioni si svolge nell'aria e nel vuoto, e con rigore è soggetto tra quei limiti alle leggi di Mariotte e di Gay-Lussac.

223. **Evaporazione: circostanze che ne regolano la copia e la rapidità.** Nello studiare il fatto della evaporazione può aversi di mira o la quantità di liquido che si volatilizza, o la rapidità del volatilizzamento. Dalle cose esposte rilevasi che la quantità di vapore di cui si satura uno spazio limitato è funzione dell'ampiezza di questo insieme e della temperatura; solo della temperatura, se lo spazio fosse indefinito. Intorno a che conviene aggiungere esservi un limite infimo di temperatura a cui non succede più vaporazione: ed è quello a cui il vapore non avrebbe tensione sensibile. Faraday osservò che il mercurio qualche grado sotto 0° più non si svapora, perchè una foglia d'oro sospesa sovra esso non biancheggia; e'l Bellani avvertì che l'acido solforico alla temperatura ordinaria non attacca una lastra di zinco sovrapposta.

S'intende pure di per se che siccome ove lo spazio fosse saturo non accadrebbe evaporazione, così tanto meno sollevasi di vapore quanto più quello si avvicina alla saturità.

Laonde quanto è più ampia la superficie svaporante, è anche più copiosa la evaporazione; poichè essendo allora maggiore la massa atmosferica a contatto del liquido, richiedesi più abbondan-

te vapore a saturarla. Anzi se più irregolare è il contorno del bacino in che il liquido si contiene, anche più abbondante è la evaporazione, poichè in questo caso a'filetti atmosferici sovrastanti al liquido se ne interpongono degli altri che tolgono a'primi porzione di vapore e gli allontanano dalla saturità. Per tale ragione dai fiumi sollevasi evaporazione più abbondante che dai laghi.

Affinchè poi una data quantità di liquido più rapidamente si trasformi in vapore e sparisca, influiscono le condizioni seguenti:

1.ª minore pressione dell'atmosfera sovrastante.

2.ª temperatura più o meno elevata, crescendo con essa e in più forte ragione la tensione del vapore.

3.ª agitazione dell'atmosfera; se è in moto, alle falde d'aria inumidite sostituisconsi delle nuove più lontane dalla saturità.

224. **Ebollizione, suo processo.** Sottoposta una sorgente di calore ad un matraccio di cristallo con entrovi un liquido, mentre questo riscaldasi per gradi si osserva il seguente ordine di fatti. La copia del vapore che man mano se ne svolge cresce con la temperatura, com'è detto, il quale sovente è sì copioso, che lo spazio sovrastante men caldo ne divien soprassaturo, e allora quello precipita visibile, e si depone sull'alto delle pareti. Aumentata di poi la temperatura appariscono delle bollicine sulla porzione di parete che risponde alla sorgente dall'esterno, le quali crescono di mole, e poscia distaccatesi ascendono attraverso il liquido: sono le molecole d'aria aderenti alle pareti: il calore le dilata, e ne diminuisce l'adesione, finchè per ambe le cagioni si staccano dal fondo, e miste al vapore che quivi pure si genera ascendono. Pervenuta la temperatura a un certo grado, che è verso i 70 se trattisi di acqua, si ode un fremito specifico cagionato così dalle vibrazioni impresse al recipiente nell'atto di staccarsi bruscamente dalla parete calda le bolle di vapore, come pure dall'essere queste schiacciate ascendendo negli strati superiori non abbastanza caldi perchè non adatte a vincerne la pressione. Aumentate poscia le bolle di numero e di mole, il fragore perde quel carattere speciale, e presto un movimento tumultuoso del liquido chiaro addimostra che non più alla sola superficie o al fondo, sì bene in ogni punto della sua massa esso trasformasi in vapore, o altrimenti il liquido *bolle*. A quel punto la tensione del vapore non riceve più contrasto dalla pressione dell'atmosfera: è questo un carattere distintivo della ebollizione, donde può ritrarsene anche una defini-

zione esatta: *la tensione del vapore d'ogni liquido in atto di bollire pareggia la pressione sovrastante.*

Leggi della ebollizione. Ogni liquido bollirebbe se avessimo come innalzarne convenientemente la temperatura, e impedirne nello stesso tempo la scomposizione. Ecco le leggi.

1.ª *A pressione costante la ebollizione à luogo sempre a temperatura determinata per uno stesso liquido, variabile da un liquido ad un altro.*

Del quale carattere ci gioviamo sovente come indizio per giudicare che un liquido sia un composto chimico determinato e non un miscuglio; quante volte cioè resta invariato il grado di sua ebollizione.

Temperatura dell' ebollizione di diversi liquidi sotto la pressione 0ᵐ, 76.

Acido solforoso. . . .	— 10°	Acqua distillata	100
Etere cloridrico.	11	Essenza di terebentina . .	150
Etere solforico	37	Fosforo	298
Solfuro di carbonio . . .	47	Olio di lino	316
Cloroformio	61	Acido solforico concentrato .	325
Alcole.	79	Mercurio.	350
Nafta	85	Solfo	400

2.ª *Dall'istante in che la ebollizione comincia, la temperatura più non si eleva, comunque sia intensa la sorgente di calore.*

Il vapore però che si svolge serba costante la temperatura del liqnido bollente; anzi ugnaglia la temperatura normale di sna ebollizione, anche quando soffrisse questa nn cambiamento per le sostanze sciolte.

225. Cagioni che alterano il punto d' ebollizione. Il calore in produrre la ebollizione deve lottare coll'adesione del liquido alle pareti del recipiente, con la coesione, con la pressione atmosferica: laonde parecchie cagioni possono farne variare la temperatura: esaminiamo la influenza di ciascuna.

1.° *Natura del vase.* Il Bellani scoprì nel 1809 che il punto d'ebollizione varia secondo la materia del vase; se questo è di vetro o di stoviglia vien ritardato, e la differenza giunge per l'acqua sino a 5° secondo Marcet; ma se la interna superficie del vetro è coperta d'uno stratolino di solfo o d'altra sostanza analoga, la temperatura dell'acqua bollente è inferiore di alcuni decimi di grado a quella che à in vase metallico. Ne è cagione l'adesione dell'acqua maggiore col vetro che con le resine e coi metalli.

2.° *Sostanze sciolte nel liquido.* Le sostanze sciolte, non quelle che sono sospese, alterano la tensione del vapore (222,2°), e quindi anche il punto di ebollizione. In generale le non volatili, o che

il sono meno del liquido, alzano il punto di ebollizione; le più volatili lo abbassano. Basterà riferire un saggio delle esperienze di Legrand spettanti all'acqua, la quale se pura bolle a 100°, non così satura di sali.

Tavola del grado di ebollizione di varie soluzioni acquose sature

Clorato di potassa . . .	103°	Azotato di soda.	116
Cloruro di bario		Carbonato di potassa . . .	135
Carbonato di soda . . .		Azotato di calce	151
Cloruro di potassio . . .	118	Acetato di potassa. . . .	169
Cloruro di sodio		Cloruro di calcio	179
Azotato di potassa . . .		Azotato d'ammoniaca. . .	180

Vale il medesimo di più liquidi combinati: così l'alcole abbassa il punto di ebollizione dell'acqua, l'acido solforico lo alza.

Ma grande soprattutto è la influenza degli aeriformi frammisti al liquido. Deluc fu il primo ad osservare, e Bellani verificò, che l'acqua privata d'aria potea salire a 112° senza bollire; Donny la portò sino a 135°. Per converso la presenza di corpi scabri nell'acqua e molto più de'porosi agevola la ebollizione per l'aria che ne' pori si alberga, e in loro vicinanza più copiose si svolgono le bolle vaporose.

3.° *Pressione sulla superficie di livello.* Se il vapore del liquido bollente dee pareggiare la pressione sovrastante, è ben naturale che al diminuire o crescere di questa debba d'accordo abbassarsi o elevarsi la temperatura della ebollizione, e con essa la tensione del vapore. Di qui è che l' acqua bolle a temperature più basse ne'siti elevati sul livello del mare, e a temperature più alte nelle profondità naturali o artefatte, come nell'interno delle miniere. In cima al Vesuvio ad esempio alto 1200 metri sul mare l'acqua bollente segna temperatura di 97°, all'ospizio del S. Gottardo 92°,9, a Quito 90°, e sulla vetta del Monte Bianco 84.° Laonde l' acqua bollente perchè non ugualmente calda neanco è adatta dovunque a produrre il medesimo effetto, come sarebbe a cuocere le vivande. Siccome poi in uno stesso luogo il barometro è soggetto a variazioni continue, lo è del pari il grado della ebollizione, e si deve tenerne conto in graduare il termometro.

Da ciò si rileva che possiamo a piacimento abbassare o elevare la temperatura della ebollizione.

E in vero se collochi sotto la campana della macchina pneumatica una vasca con acqua, e vi rendi l'aria rara così che se ne riduca la pressione a 10 millimetri, poichè il vapor d'acqua possie-

de tale tensione alla temperatura di 35 gradi; vedrai l'acqua bollire a 35°; e similmente converrebbe fare il vuoto a 9 millimetri per averla bollente a 10°, e si vedrebbe bollire frammista al ghiaccio con ridurre la pressione a soli 5 millimetri.

Valgono pure assai bene a rendere sensibile questa verità le due esperienze seguenti. Riempito a metà di acqua un matraccio di vetro a lungo collo (fig.204) e fattalavi bollire, si chiuda subitamente con tappo bene aggiustato e si capovolga. È chiaro che abbassandosi la temperatura cessa la ebollizione. Ma all' istante ricomincia di nuovo e con forza, se sul fondo si versa dell' acqua fredda, o vi si poggia sovra una spugna che ne sia impregnata. Poichè così operando il vapore si addensa e si forma un vuoto colà donde l'aria era stata espulsa con la ebollizione. È grazioso pure l'effetto che si ottieno col *bollitoio* di Franklin (fig. 205). È un tubo di esile diametro A, che si piega ad angolo retto ai due estremi, e finisce in due palle. Per una d' esse assottigliata in cima, s' introduce un liquido, per esempio acqua o alcole, e raccoltolo nell' altra *a*, mentre dentro vi si fa bollire, dopo che l' aria ne è stata espulsa si fonde quell' estremo e si chiude. Basta allora il calor della mano, che stringe una delle piccole sfere, per determinare il liquido a precipitarsi nell' altra e bollirvi con forza.


Fig. 204.



Fig. 205.

Per converso accrescendo la pressione sul liquido se ne innalza il punto di ebollizione. Così l' acqua sotto la pressione di due atmosfere bollirebbe a 121,4, di tre atmosfere a 135°, e così di seguito. Perciò ne' vasi assolutamente chiusi si può riscaldare l' acqua alla temperatura che piace senza averne bollimento; il vapore che si forma alla superficie e si addensa preme il liquido con forza uguale alla elasticità delle bolle ascendenti, e da quell'istante non più sollevansi nè si formano. Un d'essi è l'*autoclave* (fig.206), val quanto dire un serbatoio che à il coverchio di forma ellittica collocato in dentro, e perciò tanto più fortemente si chiude quanto è più valida la tensione del vapore.

Più adatta alloscopo è la *pentola di Dionigi Papin* nativo di Blois (fig. 207), la quale consiste in un vase di bronzo o di ferro battuto D, al cui coverchio solidamente fissato mediante la vite B v' à un foro *o* munito della così detta *valvola di sicurezza*. Questa componesi d' un turacciolo mobile che s'apre di sotto in sopra; su di esso poggia l' asta *n* scorrevole nel cilindro S, e per mezzo della leva *a* A può gravarsi di maggiore o minor pressione portando a varia distanza il peso *p*. Dev'essere caricata così la valvola da sollevarsi pria che il vapore acquisti tensione superiore alla resistenza delle pareti; che se raggiungesse tal limite la pentola scoppierebbe con fragore, e danno. Mentre essa è chiusa l'acqua non bolle, ascende a temperatura superiore di molto a 100°, ed acquista potere dissolvente molto maggiore dell'ordinario: con esso ad esempio si estrae la gelatina dalle ossa, le quali vi si riducono in poltiglia; donde l' apparecchio ebbe anche il nome di *digestore*.

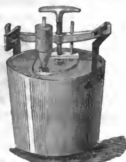


Fig. 206

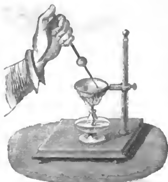


Fig. 207.

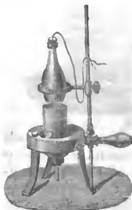
4.° *Altezza del liquido bollente.* Il vapore che sollevasi da un liquido, quando il vase è profondo, deve vincere, perchè questo bolla, non pure la pressione atmosferica, ma anche quella della colonna liquida; perciò dee acquistare maggior tensione, e temperatura più elevata. Se la colonna d'acqna ad esempio fosse alta 139 centimetri, la tensione del vapore dovrebbe pareggiare un'atmosfera, più 139 centimetri d'acqua equivalenti a 10 millimetri di mercurio: acquisterebbe in uno tensione di 770 millim. e però l'acqua bollirebbe a 104°.

Non è dunque possibile che l' acqua bolla a 0° in vase profondo, perchè la pressione del liquido di leggieri sorpassa da se quelli 5^{mm} di mercurio, quanta è la tensione del vapore a 0°.

226. Calefazione: leggi e cagione del fenomeno. Si dà nome di *calefazione* ad un fatto singolare scoperto la prima volta da Leidenfrost di Duisbourg nel 1756, e poscia studiato soprattutto da Boutigny. Se si fa cadere piccola quantità di liquido sur una massa metallica incandescente, invece di bollire, e convertirsi tutto all'istante in vapore e con istrepito, come farebbe a temperatura meno elevata, si raccoglie in se medesimo assumendo forma d'un globo schiacciato: presenta inoltre un moto di rotazione e traslazione in tutta la massa e un moto vibratorio alla superficie. Boutigny chiama questa condizione de' liquidi *stato sferoidale*. Si può ripetere agevolmente esperienza di tal fatta lasciando cadere (fig. 208) goccia a goccia dell'acqua da una pipetta in capsula rovente di platino o di argento; i globetti d' acqua separati tra loro si dondolano e rotano, talora pure si uniscono in una sola massa, la quale svapora presso che 50 volte più lentamente dell'acqua in ebollizione.


Fig. 208.

Succede lo stesso inversamente, allorchè il metallo scaldato al rosso immergesi in acqua fredda; così un filo di platino nell' acqua arroventato da valida corrente elettrica non produce quella effervescenza, che altrimenti si avrebbe da un filo men caldo. Simile cosa presenta l' acciaio al calor rosso ciliegio quando viene immerso in acqua fredda per esservi temperato.


Fig. 209.

È pure importante la seguente esperienza. Se riscaldisi oltre i 300° una piccola caldaia metallica (fig. 209), e versatavi acqua si chiuda con turacciolo e si lasci raffreddare: allorchè perviene a 140° l' acqua bolle tumultuosamente e lancia con forza il turacciolo.

Le *leggi del fenomeno* riduconsi alle seguenti:

1.ª *Ogni liquido può assumere forma sferoidale, anco i solidi at-*

ti a fondersi. Tra i liquidi sono a notare gli oli fissi; e tra i solidi il sublimato corrosivo, e i cloruri sodico e ammonico, i quali neanco si scompongono.

2.ª *La temperatura necessaria alla forma sferoidale è diversa secondo la natura de'liquidi e del metallo*. Per l'acqua non fa bisogno il calore rovente : in capsula di platino basta quello di 171°, e in capsula tersissima d'argento quello di 142°. L'alcole assoluto presenta il fenomeno a 134°, l'etere a 64°. Un liquido che non si scompone prende forma sferoidale a temperatura tanto più elevata quanto è più alto il punto di ebollizione ; e se risolvesi in sostanze aeriformi, quanto più forte calore richiedesi a scomporlo.

3.ª *La temperatura del liquido a stato sferoidale mai non oltrepassa il grado di sua ebollizione*. Boutigny se n'è assicurato con termometro piccolissimo ; nell'acqua à segnato 96°,5, nell'alcole assoluto 75°,5, nell'etere 34°,24, nell'acido solforoso—10°,5.

Il vapore però che da essi sollevasi segna temperatura di molto più elevata, probabilmente pel contatto delle pareti.

Cagione del fenomeno è una ripulsione calorifica tra il metallo e'l liquido, per cui questo no'l tocca, e si riscalda debolmente solo pel calore raggiato, non già pel calore condotto. I fisici dimostrano la mancanza di contatto con parecchie esperienze. Sembra in vero men concludente quella del vedersi intera una fiamma tra una lamina piana rovente e la superficie inferiore del liquido a stato sferoidale , potendo ugualmente aversi questo effetto o che non vi sia contatto come si vorrebbe concluderne, o che esso venga interrotto per successive oscillazioni del liquido saltellante sul solido. Ma v'e n'à di altre ben più convincenti. Ad esempio l'acido azotico a stato sferoidale sovra lamine di argento o di rame non attacca questi metalli, mentre l'azione è vivissima nel primo istante in cui per raffreddamento perde quella forma. Se ottiensi acqua a stato sferoidale in capsula di platino con fondo traforato, l'acqua non gocciola attraverso i fori. Resta modificata la capillarità a contatto de'corpi roventi, e sempre riducesi come nel caso dei liquidi che non bagnano. Inoltre Poggendorff scoprì che la corrente elettrica non passa da un metallo al liquido che v'è sopra a stato sferoidale ; e Person à osservato che l'intervallo tra liquido e metallo cresce o diminuisce secondo che si alza o si abbassa la temperatura.

Ammesse le precedenti teoriche non farà al certo maraviglia il

veder ghiacciare dell'acqua su i carboni ardenti nel seguente modo. Si porti al calor rosso bianco una capsula di platino e vi si versi dentro dell'acido solforoso liquido, il quale vi prende all'istante forma sferoidale; se in quest'ultimo poi s'immerge un matraccio con alquanto d'acqua stillata e lasciatovelo alcuni minuti si sottrae e si capovolge, ne cade un frammento di ghiaccio. Similmente se sull' acido stesso si fan cadere alcune gocce di acqua, si formerà dell'idrato d'acido solforoso gelato.

Rimane pure spiegato come si possa immergere nel piombo fuso la mano bagnata con etere, e averne sensazione di freddo; anzi anche nel ferro e nell'argento fusi senza danno, se si bagni con acido solforoso liquido, e si sollevi prima che cessi di svaporare.

227. **Precipitazione de' vapori.** Allorchè le condizioni alle quali un aeriforme si riduce son tali che esso più non ritiene la tensione necessaria al suo stato, ed esso immantinente lo abbandona. Talvolta passa bruscamente allo stato solido, come accade ai vapori di iodo, di canfora, e simili (105); ma più comunemente divien liquido; e talvolta pure da vapore invisibile ed elastico trasformasi in vapore visibile somigliante a quello che costituisce le nuvole e le nebbie.

Il difetto di sufficiente tensione in un vapore può avvenire per due ragioni in tutto diverse; o per affinità preponderante, o per saturazione dello spazio in cui rattrovasi.

In primo luogo per affinità preponderante molte sostanze assorbiscono il vapor d'acqua anche quando l'aria è lontana dal punto di saturazione, e la disseccano; tali sono l' acido solforico, il cloruro di calcio, la potassa caustica e simili.

In secondo luogo precipita il vapore perchè lo spazio ne è saturo; al che possono influire le cagioni seguenti:

1.° *Diminuzione dello spazio stesso nel quale esiste il vapore;* rimanendo costante la temperatura, quello raggiunge il suo massimo di tensione e precipita. Il che può di leggieri verificarsi abbassando lo stantuffo in una camera di tromba con aria pregna di vapore, ma lentamente perchè la temperatura non si elevi.

2.° *Abbassamento di temperatura*; pel quale viene a diminuire il massimo di tensione e lo spazio ne diventa saturo. Per questa ragione nel verno vediam depositarsi uno strato d'acqua sulla faccia interna de'vetri delle stanze umide e calde, e di està sulla esterna superficie de' vasi contenenti acqua fredda.

3.° *Mescolamento di due masse aeree a differente temperatura.* Succede mai sempre precipitazione se entrambe sono sature, poichè diminuendo la tensione in ragione molto più rapida della temperatura, il miscuglio delle due masse di aria a temperatura media non potrà contenere a stato elastico la somma delle due porzioni di vapore; ma talvolta pure accade quando ambe le masse aeree o una sola sono lontane dalla saturità pria di mescolarsi.

4.° *Formazione di novella quantità di vapore,* con che lo spazio sovrastante si rende soprassaturo. In questi casi la forza evaporante è maggiore della tensione del vapore già formato, il quale in parte precipita.

Distillazione. Si dà tal nome alla operazione destinata a separare un liquido volatile da un altro che lo è meno, o pure da sostanze solide sciolte. A tal fine col calore si trasforma il liquido in vapore; e poscia di bel nuovo in liquido col raffreddamento. Gli ordigni destinati a distillare son detti *lambicchi*: ve n'à di più semplici per tenui quantità di liquido, altri più complicati insieme e più perfetti; ma in tutti essi convien distinguere tre parti, le quali talora sono tra se disgiunte, tale altra inseparabilmente costituiscono un tutto. Sono le seguenti: un primo vase in cui si scalda il liquido che vuolsi distillare, un secondo in cui il vapore si raffredda e ritorna liquido, da ultimo un recipiente in cui raccogliesi il liquore distillato. In quanto alla materia di che si compone, può essere di cristallo, se basta all'uopo temperatura poco elevata: deve essere di cristallo lutato, o di metallo se convien ricorrere al calore de' fornelli. La fig. 210 rappresenta un lambicco che raccoglie molti pregi. Alla *caldaia* B adagiata sul fornello è sovrapposto il *cappello* A, il quale per mezzo del *collo* R s' innesta con un lungo tubo avvolto ad elica chiamato *serpentino.* Quest'ultimo fa le parti di *refrigerante* ossia di *condensatore*, perchè i vapori che il percorrono raffreddati diventano liquidi e si raccolgono nel serbatoio D. A tale uopo il serpentino è immerso in un cilindro con acqua fredda, la quale scorre da una vasca superiore, e pel tubo esterno *n* s'introduce per un foro a chiave praticato verso il fondo di quello: già calda poi ascende e si versa per un canale superiore *m*.

Se si tratta di distillare acqua, può introdursi nella caldaia l'acqua che si versa calda dal condensatore, e ciò per economia di tempo e di combustibile.

228. Liquefazione dei gas. Rigettata la distinzione degli aeriformi in permanenti e non permanenti (153), si ritiene tuttora la denominazione di *vapori* per quelli tra essi che anco nelle condizioni ordinarie naturalmente talvolta abbandonano lo stato aeriforme. Gli altri àn bisogno che ad arte si accresca più o meno la pressione, o si abbassi la temperatura, o dell'uno e dell'altro artifizio insieme. Liberato Baccelli professore di fisica nella università di Bologna fu il primo (1812) ad avvisarsi, che i fluidi espansibili con ambo quei mezzi potessero tutti o in parte cangiarsi in liquidi; e le sue esperienze il comprovarono. Poscia valenti fisici, soprattutto Davy, Bussy, e Faraday, confermarono mirabilmente

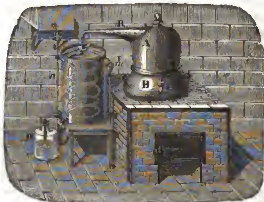


Fig. 210.

la idea del fisico italiano impiegando validissime pressioni e freddo intensissimo. Ci basterà descrivere l'ordigno imaginato da Thilorier e poscia modificato da Deleuil per avere liquido l'acido carbonico. Componesi d'un cilindro di ghisa o di rame a pareti oltre modo resistenti, girevole con moto di rotazione intorno a un asse orizzontale. Nel suo mezzo è sospeso un lungo tubo di vetro aperto di sopra e ripieno di acido solforico: nel fondo v'è una quantità sufficiente di bicarbonato di soda. Allorchè il cilindro è chiuso, si fa dondolare dapprima leggermente intorno al suo asse: con ciò alcun poco di acido cade sul bicarbonato, lo scompone, e se ne ottiene solfato di soda, e acido carbonico, il quale svolgendosi aeriforme e copioso rimane compresso e divien liquido. Questa operazione si ripete più volte: allorchè la quantità dell'acido liquido

è sufficiente e vuolsi separare dal solfato di soda, si fa comunicare il cilindro adoperato con un altro in tutto simile: questo secondo funziona da recipiente, poichè l'acido carbonico appena gli s'apre



Fig. 211.

quella sfuggita si volatilizza, passa dal primo cilindro nell'altro, e quivi egualmente compresso ritorna liquido.

Lo stesso apparecchio vale a rendere liquidi tutti gli aeriformi che si trovano in somiglianti condizioni, i quali cioè si svolgono copiosi da una reazione, e possono essere abbastanza compressi dalla loro medesima elasticità in angusto recipiente. Ma per molti altri fa d'uopo raccorli anticipatamente in ampî gassometri, e poscia comprimerli in serbatoi di picciola mole. Su questo principio è fondato l' ordigno di Natterer, renduto più perfetto da Bianchi valente meccanico italiano stabilito a Parigi (fig. 211).

Il valido sostegno P Q tutto intero il sorregge ; la sua parte principale , la cui sezione è rappresentata di lato più in grande , consiste in un serbatoio A di ferro battuto a pareti così spesse da poter sostenere enormi pressioni. Inferiormente gli è congiunta a vite una tromba di compressione: *t* è l'asta del suo stantuffo, a cui si trasmette il moto dalla manovella M per mezzo del sistema di ruote dentate e rocchetti E.

L'aeriforme dal sacco R a pareti flessibili ed impermeabili traversa la bottiglia D con sostanze disseccanti; e pel tubo H di caoutchouc è guidato nella tromba, per cui opera compresso si riduce liquido in A. Ma l' agitazione dello stantuffo e la compressione stessa svolgono calore; epperò il serbatoio A vien circondato da una vasca B con ghiaccio o con miscuglio refrigerante:l'acqua di fusione pel cannello *m* discende nel fodero C che circonda la camera di tromba, e poscia si versa per l'altro cannello *n* e per la chiave *o*.

229. **Calore di vaporizzazione.** Poichè determinata una volta la ebollizione più non si eleva la temperatura del liquido comunque sia attiva la sorgente termica (224,2^a), fa d'uopo inferirne che il calore, cui questa seguita a cedere, s'impiega solamente in produrre il cangiamento di stato, il volatilizzamento.E di fatti tanto più vapore si svolge quanto più elevata temperatura la sorgente possiede.Siccome dunque v'è un calore latente di fusione,così pure v'è un *calore latente di vaporazione*, il quale non si scorge al termometro, ma è assorbito dal vapore che si sviluppa.

Freddo prodotto dalla evaporazione: *congelazione nel vuoto*.Veramente, se bene riflettesi, il calore di vaporazione agisce sul termometro in quanto no'l fa abbassare,come avverrebbe se un liquido si cangiasse in vapore senza ricevere nuovo calore dalla sorgente. In fatti la evaporazione libera all'aria cagiona abbassamento di temperatura, il quale fenomeno fu studiato innanzi ogn'altro dagl'italiani Redi e Cestoni. Tanto maggiore è il raffreddamento quanto quella è più rapida; come si osserva rivestendo la palla d'un termometro con batista su cui si fa cadere goccia a goccia dell' acqua: l'effetto è più intenso se il termometro si agita nell'aria o questa vi si lancia contro con un soffietto; e più senza paragone adoprando in cambio dell' acqua liquidi più volatili , alcole , etere , solfuro di carbonio. Così Morveau nel 1776 innanzi all'accademia di Francia in 7' gelò dell'acqua mentre la sala era a 21°.

Più considerevole è il freddo, se si opera nel vuoto, e si à cura

di torre il vapore che man mano si va formando, il quale con la sna pressione ne arresterebbe il progressivo svolgimento. Leslie collocò sotto la campana della macchina pneumatica una vasca A (fig. 212) con acido solforico concentrato, sull'orlo della quale poggiava uno scodellino metallico B con alquanto d' acqua : se in questa immergesi il bulbo d'un termometro C, lo si vedrà discendere prestamente ai primi colpi di stantuffo, e in pochi minuti l' acqna sarà gelata. Il Cav. Configliacchi ebbe similmente la congelazione del mercurio, e Dove sostituendo all'acqua l'etere spinse il raffreddamento sino a 62°.

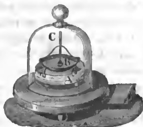


Fig. 212.

La evaporazione de'seguenti liquidi, acido solforoso, protossido d' azoto, e acido carbonico, à prodotto le più basse temperature. Qnest'ultimo esposto all' aria libera si svapora in parte in un attimo e' l calore assorbito solidifica il rimanente; l' acido carbonico solido segna—90°, il protossido d'azoto liquido—88°, ed entrambi svaporano lentamente.

Ordigni di Carré. L' ammoniaca liqnida svaporando nel vuoto produce anche freddo intenso. Carré ne à tratto vantaggio per comporre ordigni da ghiacciare. Sieno A, B (fig. 213) dne cilindri di ghisa comunicanti per l'alto: il primo quasi pieno di soluzione concentrata di ammoniaca, e vnoti entrambi d'aria. Si riscaldi dolcemente il cilindro A sinchè il termometro annesso segni 130°, con che l'ammoniaca espulsa si raccoglie nel cilindro B. Allora il cilindro A si toglie dal fnoco e s' immerge nella vasca C con acqua fredda ; e similmente il cilindro B s'immerge nella vasca E con acqua da ghiacciare. Con ciò l' ammoniaca rapidamente ritornando da B in A raffredda e gela l' acqua della vasca E. Il cilindro B suole introdursi nel fodero D, che nell' esperimento s'incrosta di ghiaccio, e versandovi acqua tepida se ne stacca.

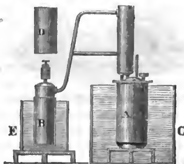


Fig. 213.

Questo ordigno chiamasi *a congelazione esterna*. Ve n'à pure *a congelazione interna*, dove invece del cilindro B v'è un doppio fodero, e in esso il liquido da convertire in ghiaccio. Finalmente Carré à composto ordigni con azione non intermittente ma continua destinati a comporre ghiaccio per uso commerciale.

Misura del calore latente di vaporizzazione. Allorchè un vapore diviene liquido emette quella quantità di calore che avea assorbito trasformandosi da liquido in vapore. Si à dunque la misura del calore latente di vaporizzazione sia con raccorre l'acqua ottenuta dalla fusione del ghiaccio a contatto del vapore che convertesi in liquido, sia con determinare di quanto s'innalza la temperatura d'un peso conosciuto di acqua pel mescolamento del vapore in atto di liquefarsi. Watt à usato il primo metodo: Despretz il secondo valendosi del seguente apparecchio: nel bollitoio o storta C (fig. 214) l'acqua si trasforma in vapore, che si condensa nel serpentino SS immerso nell'acqua della cassa B, e ridotta liquida si raccoglie nel recipiente A: dilicati termometri indicano le temperature del bollitoio e della vasca, ossia del vapore e dell'acqua, allorchè comincia e finisce la esperienza.

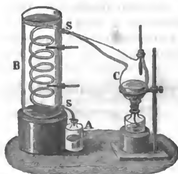


Fig. 214.

Watt nelle sue ricerche avea ottenuto per valore del calor latente di vaporizzazione 533. Ciò vuol dire che un grammo d'acqua volatilizzandosi a 100° assorbe tale quantità di calore, che sarebbe capace di elevare 533 grammi d'acqua da 0° a 1°. Despretz in una serie di esperienze ebbe 530, in un'altra 540. Favre e Silbermann ottennero 535, 8 che sarebbe presso a poco la media dei risultamenti di Despretz. Adunque per l'acqua il calore latente di vaporizzazione è poco men che sette volte maggiore di quello di fusione.

Assai diverso da quello dell'acqua è il calore di vaporizzazione degli altri liquidi; anzi Regnault à scoverto che anche per l'acqua vi sono delle differenze secondo le temperature e le pressioni.

IGROMETRIA

230. **Umidità dell' atmosfera, stato igrometrico.** L'aria contiene sempre del vapor d'acqua, come apparisce da quello che in tanti modi ne precipita, e da quel che assorbe dai corpi bagnati. Ma di rado ne è satura. La quantità di vapore esistente in un determinato volume di aria costituisce la sua *umidità assoluta*. Più o meno umida però essa si addimostra non pure in ragione della quantità di vapore, ma anco della temperatura; poichè da ambo questi elementi dipende il grado di saturazione. *Umidità relativa* di un volume d'aria, o *frazione di saturazione*, o *stato igrometrico* è la relazione tra il peso del vapore acqueo che esso contiene e quello avrebbe se ne fosse saturo alla medesima temperatura. E poichè fino a raggiungere il massimo di tensione, o il punto di saturazione, i pesi dei vapori sono proporzionali alle loro forze elastiche, possiam dire altrimenti che la ragione tra la tensione del vapore contenuto nell' aria e 'l suo massimo alla stessa temperatura ne costituisce lo stato igrometrico.

Igrometri, ed igroscopî. Gl'*igrometri* sono strumenti destinati a misurare la umidità dell'atmosfera: gl'*igroscopî* ne fanno scovrire i cangiamenti senza darne misura. Ve n'à diverse specie secondo il principio su cui si fondano : possono ridursi a tre classi; 1°. ad assorbimento, 2°. ad evaporazione, 3°. a condensamento.

231. **Igrometri ad assorbimento.** Il vapore acqueo tende a deporsi sulla superficie di varî corpi, e penetrare tra le loro molecole in virtù di sua forza espansiva : molti anche tra essi ànno potere di assorbirlo o combinarvisi. Secondo la quantità del vapore assorbito avvengono ne'corpi igroscopici o igrometrici delle alterazioni 1° di *peso*, 2° di *temperatura*, 3° di *dimensioni*, le quali si prendono ad argomento della umidità dell'atmosfera.

1°. Il più antico igroscopio pare sia stato quello usato da Leonardo da Vinci, e fondavasi sulla variazione di peso. Ei collocava sul piattello di sensibile bilancia della lana o altra materia assorbente, e dall'inchinarsi quella da un lato o dall'altro traeva indizio del cangiamento nello stato igrometrico. Nicolò Cusano e 'l Padre Lana adottarono dei sali assorbenti, Gould l'acido solforico concentrato, Guyton de Morveau il cloruro di calcio.

2°. Se il vapore assorbito si combina colla sostanza igrometrica,

ne accade come per ogni sintesi innalzamento di temperatura, il qnale con giusta proporzione risponde alla quantità di quello. Van-Mons il primo e poi De la Rive si valsero del calore svolto dall'acido solforico concentrato a contatto dell'aria.

3°. Parecchi corpi assorbendo vapore cangiano di mole, di forma o di dimensioni, ed àn dato origine a diverse categorie d'istrumenti.

Snll'aumento di capacità in parecchie sostanze organiche son fondati quegli igrometri che ànno forma come di termometri : il corpo igrometrico ne costituisce il bulbo, il quale con parte d'un cannello sottile di vetro annesso s'empie di mercurio : la colonna liqnida s'abbassa o si alza per cresciuta o diminuita umidità. Deluc adottò un cilindretto d'avorio, Retz tubi di penne, Beccaria paglia di segala, Wilson e Daniell la vescica di topo, Bellani la vescica natatoria de'pesci.

Anche la torsione è stata impiegata per segno igroscopico. Una listarella di canna tagliata a spira costituisce una specie di riccio, il quale è fissato per nna sua estremità a un asse, e nell'altra porta un indice: la nmidità penetrando le fibre della canna ne accresce il torcimento, epperò l'indice si volge per nn verso o per l'altro. Possono servire all'istesso uso le barbe di alcnni gerani.

Ma tutti questi strumenti riescono sempre imperfetti: le loro indicazioni dipendono e dalla umidità e dalla temperatura, e non sono per nulla comparabili neanco ciascuno con se medesimo.

Assai più copiosi sono stati gl'igrometri ad allungamento. Gli Accademici del Cimento usarono una striscia di foglio, Kirker un' arista di avena, Lana una corda di minugia, Landriani una listarella di carta, Guglielmo Arderon un'assicella di abete, il P. G.B. da S. Martino la tunica villosa intestinale, Saussure un capello, Deluc una laminetta di osso di balena.

Igrometro a capello di Saussure. Infra tutti il solo rimasto nella scienza è l'igrometro a capello (fig. 215, 216).

Il capello C è teso verticalmente: una sua estremità vien fissata alla pinzetta *a*, l'altra si avvolge intorno ad una prima scanalatura d'una puleggia doppia O di $0^{m},004$ di raggio, mentre dalla seconda pende un filo col contropeso *p*: alla pnleggia è unito l'indice. L'assicella mobile *q* (fig. 215) à una cavità all'estremo, per ricevervi il contropeso *p*, quando l'istrumento non è in azione, e il rende portatile senza rischio che il capello si spezzi.

Sono del fisico ginevrino le seguenti avvertenze spettanti alla

costruzione del suo strumento. Il capello vuol essere dilicato, morbido, non crespo, e reciso da testa vivente e sana: non fa bisogno sia più lungo d'un piede. Perchè naturalmente è coverto di untume, che il renderebbe inerte, fa d'uopo purgarnelo, e ciò con lisciviarlo immergendolo per circa trenta minuti in acqua con 0,01

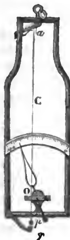


Fig. 215.

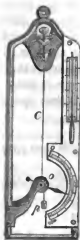


Fig. 216.

del suo peso di carbonato di soda: quindi si lava in acqua pura, e si fa disseccare. Regnault all'istesso fine à proposto di tenere il capello per 24 ore nell'etere solforico, che nulla gli toglie del suo nerbo. Il capello così preparato si accresce di 0,0245 di sua lunghezza passando dalla secchezza estrema alla estrema umidità. Per definir questi limiti Saussure poneva l'istrumento prima per due ore sotto una campana a pareti bagnate, poscia entro una lamina di latta avvolta a cilindro, che dopo essere aspersa di bitartrato di potassa era stata arroventata. Regnault ottiene un secco più pronto e più perfetto con acido solforico concentrato. Così facendo l'indice si fissa in due posizioni estreme, che sono quelle della massima umidità e della massima secchezza, e vengono dinotate con 100° e 0.

Tavole per l'igrometro a capello. L'igrometro a capello è quasi indipendente dalle variazioni di temperatura, poichè si è osservato spostarsi l'indice appena di 3/4 di grado per un cambiamento di 33°. Allato però di questo vantaggio porta seco un grave incon-

veniente, ed è che i suoi gradi non indicano immediatamente lo stato igrometrico; val quanto dire che se l'igrometro segna 25°, o 50°, l'aria è ben lungi dal contenere la quarta parte o la metà del vapore che la rende satura. Gay-Lussac il primo si adoperò di scovrire quella relazione determinando empiricamente la quantità di vapore per ogni grado dell'igrometro: poscia Princeps, Melloni, ed August fecero altrettanto valendosi di altri principî; ma i risultamenti di loro ricerche vanno assai poco d'accordo. Regnault à osservato che non si corrispondono le indicazioni intermedie di varî igrometri, sebbene vadano uniformi ne'punti estremi, e sieno costruiti con la stessa diligenza ma con capelli appartenenti a diversi individui: ogni strumento dunque à bisogno d'una graduazione a se.

Tavole dello stato igrometrico rispondente all'igrometro di Saussure

Igrometro	Gay-Lussac	Princeps	Melloni	August
100	100,0	100,0	100,0	100
95	89,1	88,7	90,8	94
90	79,1	78,2	83,1	86
85	69,6	68,3	76,5	79
80	61,2	59,2	68,9	71
75	53,8	50,6	62,0	64
70	47,2	43,6	55,6	56
65	41,4	37,2	49,6	48
60	36,3	31,5	44,0	41
55	31,8	26,3	39,1	36
50	27,8	21,8	34.6	31
45	24,1	17,7	29,8	27
40	20,8	14,3	27,0	23
35	17,7	11,4	23.8	19
30	14,8	9,1	19,0	16
25	12,0	7,1	16,4	13
20	9,4	4,9	11,7	10
15	7,0	3,0	8,3	7
10	4,6	1,6	5,0	4
5	2,2	0,6	3,6	2
0	0	0	0	0

232. **Igrometri ad evaporazione.** Se l'aria è satura di vapore ogni nuova evaporazione diviene impossibile, ed un termo-

metro che à il bulbo bagnato resta immobile: sarà poi maggiore o minore la evaporazione e quindi il raffreddamento secondo che l'aria è più o meno lontana dal punto di saturazione. Ma v'è un limite; perchè quanto è maggiore il raffreddamento del bulbo, tanto più da un lato esso tende a riscaldarsi pel contatto dell'aria e pel raggiamento de'corpi circostanti, e dall'altro tanto è men rapida la evaporazione. A un determinato istante dunque vi sarà compenso tra il calore acquistato e 'l perduto, ed allora il termometro rimane stazionario.

Per questa teoria Gay-Lussac il primo propose la evaporazione qual segno igrometrico. Leslie trasformò in igrometro il suo termometro differenziale con ricovrire una delle palle di tela fina batista o di carta bagnata con acqua fresca. Il freddo prodotto dalla evaporazione condensa il vapore interno da questo lato, mentre la tensione di quello che esiste nell' altra palla fa abbassare la colonna liquida che le corrisponde, e sollevare la colonna precedente: l' effetto, ossia la differenza d'altezza delle due colonne, sarebbe proporzionale alla secchezza dell'aria circostante.

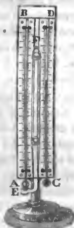


Fig. 217.

Lo *psicrometro* (*) di August è il più comune strumento in questo genere: componesi di due termometri A B, C D (fig. 217) vicini, e di eguali dimensioni: il bulbo del primo di essi è perennemente bagnato, il che si ottiene rivestendolo di fili, i quali per capillarità assorbono l'acqua del tubo EF aperto di sotto, chiuso di sopra : l'altro bulbo è asciutto e nudo, ma sarebbe bene vestirlo pure di fili, perchè fossero identiche le condizioni di entrambi.

Il Belli avvertì delle anomalie nel termo-igrometro dipendenti dallo stato dell' aria agitato o tranquillo, e volle che innanzi ad ogni osservazione si dondolasse quello nell'aria, e subito dopo si leggesse la differenza tra i due termometri. Poscia ne ridusse l'uso più comodo, introducendo il bulbo di ambo i termometri in un tubo, dal quale aspirava l'aria con grande rapidità ; il bulbo asciutto presso l'orifizio, il bagnato nell'interno, perchè non esercitasse influenza sul primo.

Lo *psicrometro* à sugli igrometri della categoria precedente il

(*) dal greco ψυχρός *fresco*.

vantaggio di non soffrire col tempo alterazione veruna. Pur tuttavolta affine di dedurre dalle sue indicazioni il grado di umidità, Gay-Lussac vide bene che bisognava costruire delle tavole, i cui elementi dovessero raccorsi con replicate esperienze. August costruì tali tavole, e diè una formola, nella quale entrano il calore specifico dell'aria, non che il calore specifico,la densità,e 'l calore latente del vapore. L'andamento però del termo-igrometro è sempre dipendente da molte circostanze locali; nella pratica vale meglio collocarlo in sito ampio, ma riparato dai venti (*).

233. **Igrometri a condensazione.** Leroy di Montpellier imaginò di determinare il grado di umidità dell'atmosfera, osservando la intensità del raffreddamento, che conveniva produrre in essa per averne la precipitazione del vapore: ecco una distinta serie d'igrometri. Egli sperimentava a questo modo. Riempito d'acqua a metà un vase di cristallo a pareti ben terse e brillanti, ed espostolo all'aria, aspettava che fosse con essa a perfetto equilibrio di temperatura: poscia a poco a poco vi versava dell'acqua a 0°, ed osservava l'istante, in cui la superficie esterna si appannava. Il grado di temperatura, a cui questa precipitazione avviene, dicesi il *punto di rugiada*, e di quanto esso è più basso, tanto l'aria è più lontana dal punto di saturazione.

Conosciuto il punto di rugiada riesce agevole inferire il grado di umidità. Infatti mentre lo strato aereo si raffredda sino alla precipitazione del vapore nulla perde di sua forza elastica, supponendo costante l'altezza barometrica; e perciò nè anco la tensione del vapore soffrirà alterazione; val quanto dire la tensione del vapore esistente nell'aria prima del raffreddamento pareggerà la tensione massima, che corrisponde alla temperatura del punto di rugiada. Ciò posto, cercando nelle tavole (219) la tensione corrispondente alla temperatura del punto di rugiada, si avrà la tensione del vapore di acqua esistente nell'aria; e però dividendo la tensione tro-

(*) La formola di August è la seguente:

$$e = e' - 0{,}00077832\,(t - t')\,b,$$

nella quale t, t' sono le temperature segnate dai due termometri secco e bagnato, e la tensione richiesta del vapore esistente nell'aria, e' la tensione massima corrispondente alla temperatura t', b la pressione barometrica.

Il coefficiente numerico è dipendente secondo Regnault da circostanze locali; va determinato col confronto di altro igrometro.

vata per quella, che corrisponde alla temperatura dell'esperienza, si otterrà il valore dello stato igrometrico.

È bene non fermarsi al grado di temperatura a cui la rugiada comincia, ma si aspetti altresì che il velo di umido si dilegui ; si prende allora la media delle due temperature.

Igrometro di Daniell. Daniell à ideato uno strumento (fig. 218), col quale si può comodamente porre in opera il metodo esposto. È un tubo di cristallo piegato due volte ad angolo retto e nel medesimo verso con due piccole sfere agli estremi. Una di esse A è piena per due terze parti di etere, nel quale pesca il bulbo di un dilicato termometrino; l'altra B è rivestita di un velo di finissima mussolina. Ma il tubo e le due sfere debbono essere prive di aria e non contenere che vapori di etere; il che si ottiene facendovi dentro bollire il liquido mentre una delle palle à una estremità assottigliata e aperta, e poi si chiude alla lampada; il sistema è sostenuto da una colonnetta, a cui pure è fissato un termometro.

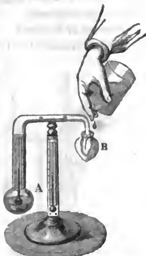


Fig. 218.

Ciò posto, si versi goccia a goccia dell'etere sulla sfera B: il vapore interno si addensa, decresce la pressione sul liquido della sfera A, e se ne promuove la evaporazione. Questa dal suo canto raffredda la superficie esterna della stessa sfera A, sulla quale alla fine si deposita un velo di rugiada. Per meglio discernere quell'appannamento al suo primo apparire,la sfera A si forma di un vetro nero o azzurro assai splendente. Si osserva allora il termometro interno, poi una seconda volta come è detto allorchè la rugiada sparisce: e si prende la media delle due letture. Il termometro esterno dà la temperatura dell'aria.

Cotesto istrumento, convien pure confessarlo,porta seco parecchi inconvenienti. Richiede grande abilità nell'osservatore. Bisogna osservare molto dappresso, donde provengono delle alterazioni nella temperatura e nello stato igrometrico dello spazio circostante; anche nuove alterazioni sono cagionate dall'etere che non

è anidro. Quando l'aria è secchissima e la temperatura molto elevata è malagevole ottenere formazione di rugiada. Finalmente perchè la evaporazione raffredda massimamente la superficie dell'etere, la indicazione del termometro col bulbo tutto immerso non è assolutamente vera. Laonde parecchi fisici si sono sforzati più o men felicemente di allontanare tali cagioni di errore, soprattutto Doebereiner, Pouillet, Regnault. A noi basterà descrivere l'igrometro di quest'ultimo.

Igrometro di Regnault. Componesi di due tubi di vetro D, E, (fig. 219) di presso a $0^m,12$ di altezza, e 0,02 di diametro, infe-

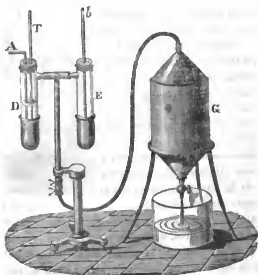


Fig. 219.

riormente incastrati in due come ditali di argento a pareti sottili e superficie levigate. Vale meglio coi processi galvanici far precipitare sul vetro uno stratolino splendente di argento o di oro. I due tubi vengono sostenuti dal medesimo piede: ciascuno contiene un termometro T, *b*, aggiustati con tappo di sughero, i cui bulbi scendono fin presso al fondo. Inoltre il solo tubo D comunica per un condotto di piombo coll'aspiratore G; e di più quasi fino al fondo penetra il cannello A, che si piega all'esterno, si discosta a convenevole distanza, e finisce con una chiave.

È chiaro che, se si versa dell'etere nel tubo D, e scorre acqua dall'aspiratore G, penetra una corrente d'aria per A; la quale gorgoglia a traverso il liquido, e 'l fa svaporare. Ne segue raffreddamento, e quindi deposizione di rugiada.

I vantaggi di questo strumento sono i seguenti. 1.° Il punto di rugiada è dato esattamente dal termometro T immerso nell'etere, il quale, perchè in movimento, à per tutto una stessa temperatura: il termometro *b* segna la temperatura dell'aria, che si trova nelle stesse condizioni presso ambo i tubi. 2°. Regolando la corrente aerea con aprire più o meno così la chiave dell'aspiratore, come quella del cannello A, si possono avvicinare a piacere i due punti dell' apparire e dileguarsi della rugiada: con l'esercizio si giunge a far che distino appena un decimo di grado l'uno dall'altro. 3.° Le osservazioni si fanno da lungi per mezzo d'un cannocchiale. 4°. Il vapor d'etere è assorbito con la corrente aerea dall'aspiratore, e non può alterare lo stato igrometrico che vuol determinarsi.

MACCHINE A VAPORE

234. **Nozioni preliminari.** *Macchina a vapore* si dice un ordigno per impiegare la elasticità del vapor di acqua qual forza motrice. In generale la maniera di valersene consiste nel far agire il vapore sur uno stantuffo, e nel trasformare il moto rettilineo ed alternativo di questo in moto di rotazione continuo.

V'à due classi di macchine a vapore: le une sono *fisse*, come quelle che si applicano alle trombe per attingere acqua, ai molini, ai diversi opifici; le altre sono *mobili*, e diconsi *locomotive*.

Secondo il vario grado di forza elastica del vapore diconsi le macchine a *bassa*, a *media*, e ad *alta* pressione; a bassa pressione se la tensione del vapore non supera un'atmosfera e 3|4, a media pressione sino a quattro atmosfere, sopra quattro indistintamente ad alta pressione.

235. **Cenno storico della invenzione e progressi delle macchine a vapore.** Argomento così importante vuole essere esposto alquanto diffusamente; e 'l miglior modo si è quello di seguire l'ordine cronologico, che nel caso presente è anche il più acconcio a tutti comprendere i progressi della scienza.

Erone alessandrino. Erone di Alessandria, l'inventore della fon-

tana che porta il suo nome (171,2°),un secolo prima di nostra salute pare che abbia dato con la *eolipila* il primo esempio di moto per elasticità del vapore. La *eolipila a reazione* (fig. 220) consiste in una sfera vuota e girevole intorno a un asse orizzontale: agli

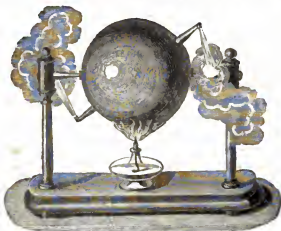


Fig. 220.

estremi d'un secondo diametro le son fissi due cannelli piegati ad angolo retto e in opposte direzioni. Se versata dell'acqua nella sfera si scaldi sino alla ebollizione, il vapore che sfugge pe' cannelli esercita una spinta in senso opposto alla direzione del getto e determina la sfera a girare. Che se il serbatoio fosse fermo sopra un carretto, rinculerebbe. Tale ordigno nulla à di comune con le macchine a vapore attuali, e non presenta alcun utile.

Gerberto, secolo X. Gerberto, poscia papa Silvestro II, col getto vaporoso uscente da un cannello mosse un orologio e una macina a polvere. Anche Leonardo da Vinci lasciò intravedere ne' suoi scritti applicazioni di tal fatta.

Salomone di Caus 1615, Branca 1629. Si può affermare però che i veri esordi delle macchine a vapore non datino prima del secolo XVII. Salomone di Caus francese di nascita descrisse nel 1615 un meccanismo atto a far zampillare l'acqua contenuta nel serbatoio per un cannello, che pescava da un lato nel liquido e dall'altro si protraeva all'esterno: nella costruzione era affatto simile alla fontana nel vuoto o a quella di compressione (148,2;171,1). E l'italiano Branca imaginò nel 1629 di usare una corrente di vapore pel

rivolgimento di una ruota, com'è espresso dalla fig. 221. Il serbatoio con acqua A sorretto dal treppiede B finisce in alto col cannello ricurvo FC munito di chiave: determinata l'acqua a bollire sottoponendovi una lampada G, il vapore sfugge per C, incontra e spinge le palette della ruota D, il moto della quale per mezzo della manovella E può essere applicato alla produzione di un lavoro utile.

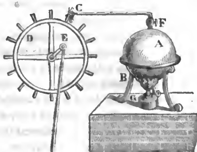


Fig. 221.

Marchese di Worcester 1663. In Inghilterra il Marchese di Worcester propose un meccanismo come quello di Caus, tranne che sostituì due serbatoi a un solo da usarsi alternamente con risparmio del tempo richiesto ad introdurre acqua e riscaldarla.

Savary 1689. Nelle macchine di Caus e del Marchese di Worcester l'acqua stessa riscaldata trasformavasi parzialmente in vapore, che con la sua spinta produceva l'ascensione della rimanente. Il Capitano Savary invece nel 1689 imaginò di esporre a fuoco e convertire in vapore dell'acqua distinta da quella che doveva elevarsi. Il suo ordigno componesi di due caldaie in uno stesso fornello: il vapore è guidato per un tubo adduttore all'uno o all'altro di due serbatoi cilindrici, in aprirsi la chiave che risponde al primo o al secondo: questi sono sovrapposti ad una vasca d'acqua, e son provveduti anche inferiormente di valvole che si aprono di sotto in sopra. In quanto al modo di agire, imaginiamo che i due serbatoi da principio sien colmi d'acqua: il vapore viene ad uno d'essi, e con la sua pressione dà origine ad un getto ascendente per un cannello laterale. Quando tutta l'acqua è uscita si chiude la valvola superiore: il serbatoio si raffredda, e 'l vapore si condensa: donde ne segue un vuoto, la valvola sottoposta si apre, e l'acqua il riempie novellamente. Il medesimo accade nell'altro serbatoio; epperò comunicando alternamente or l'uno, or l'altro con le caldaie la macchina sarà in azione continua.

Dionigi Papin 1690. Allato del vantaggio che si à nella macchina di Savary dello svolgersi il vapore in caldaia distinta, v'è pure un grave difetto: la corrente di vapore venendo a contatto dell'ac-

qua fredda si condensa, e non agisce efficacemente, se non dopo averla riscaldata così da permettere al vapore vegnente di conservare la tensione necessaria all'effetto. Papin nel 1707 fece sparire tale inconveniente applicando alla macchina stessa del Savary la sua invenzione sperimentata già in piccolo fin dal 1690. La quale consiste nell'agire il vapore non immediatamente sull'acqua, ma sopra uno stantuffo scorrevole in serbatoio cilindrico, che trasmette all'acqua sottostante la pressione ricevuta di sopra dal vapore. La elasticità del vapore facendo abbassare lo stantuffo determina un getto liquido; e quando s'intercetta il passaggio al nuovo vapore, il serbatoio da capo si riempie d'acqua. Egli pure applicò le sue valvole di sicurezza così alla caldaia come al serbatoio; e volle che la macchina servisse non pure ad innalzare acqua, ma anche a muovere ogni altro ordigno.

Newcomen e Cawley 1705. La macchina a vapore costruita a Darmouth nel 1705 dai due semplici operai Newcomen e Cawley, la quale vien designata col nome di *macchina atmosferica*, è stata veramente la prima che à recato significanti vantaggi all'industria. La caldaia à forma d'un emisfero a fondo piano: il vapore penetra per un condotto a chiave in una camera di tromba di cui solleva lo stantuffo; allorchè il vapore si addensa, la pressione atmosferica lo abbassa: lo stantuffo è unito con catena ad una delle due estremità d'un bilanciere, mentre all'altra con simile catena è attaccato un contropeso ed un'asta per agitare delle trombe, ed estrarre acqua da pozzi o da miniere. La condensazione del vapore veniva prodotta ne' primi tempi versando acqua sulla parete esterna della camera: poscia nell'interno della sua capacità con profitto immenso in quanto alla rapidità dell'effetto. Fa bisogno dunque aprire alternamente le chiavi, che danno accesso nella camera ora al vapore per sollevare lo stantuffo, ora ad un getto di acqua che il condensa: ed a quando a quando con aprire una chiave sottoposta si fa scorrere l'acqua dal fondo della camera.

Leupold 1724. Non è mestieri che la tensione del vapore nella macchina di Newcomen superi di molto un'atmosfera; e però è necessaria la condensazione per averne il moto alternativo. Non sarebbe così se la superasse di molto: basterebbe allora dopo che esso à agito sullo stantuffo aprirgli un'uscita all'esterno: si spanderebbe pel suo eccesso di elasticità, e non vi sarebbe bisogno di condensazione. La prima macchina di tal genere ad *alta pressione*,

o *senza condensazione* fu descritta da Leupold ed è come segue. Alla caldaia sono sovrapposti due cilindri con entro due stantuffi: un condotto munito di chiave dà passaggio alternamente al vapore ora nell'uno ora nell'altro di quelli, e nello stesso tempo comunica coll'atmosfera ora il secondo ora il primo. A questo modo mentre il vapore che à sollevato lo stantuffo del primo cilindro si spande nell'atmosfera e lo stantuffo si abbassa, altro vapore penetra dalla caldaia nel secondo cilindro e ne innalza ugualmente lo stantuffo. Gli stantuffi sono congiunti agli estremi di due bilancieri, ed agli estremi opposti sono legate le aste di due trombe: il moto alternativo di queste cagiona un getto d'acqua continuo.

Onfredo Potter, Beighton. Ciascuno inferisce dalle descritte cose che un attento operaio doveva vigilare accanto alla macchina, ed aprire e chiudere a dati tempi le valvole. Ma un tale Onfredo Potter destinato a siffatto uffizio si avvide un dì che poteva risparmiarsi tanta noia legando con corde le aste degli stantuffi alle teste delle chiavi: queste regolarmente aprivansi e si chiudevano, e la macchina andava da sè. Ei venne rimunerato con taccia e riprensione di pigro, e fu espulso dall'opificio; mentre la sua invenzione migliorata dall'ingeguere Beighton valse di grande perfezionamento alla macchina a vapore. Questi ne dedusse pure il modo di alimentar la caldaia e le trombe non più a mano di operai, sì bene dalla macchina stessa in moto.

Watt 1769. Le macchine a vapore erano nella loro infanzia fin qui, e l'uso ne fu ristretto oltremodo sino al 1769. A quest'epoca entrò in aringo l'ingegnere scozzese Giacomo Watt, e tra le sue mani tale grado di perfezione raggiunsero da divenire il motore universale. Egli a giusto titolo può riputarsene il vero inventore: in lui ne finisce la storia se si riguarda la novità del trovato; e quanti altri àn cercato dipoi perfezionarle non àn potuto avere altro scopo fuorchè quello della economia o del combustibile, o delle spese di costruzione e di riparazione.

La condensazione del vapore nel cilindro stesso aveva seco il grave inconveneiente che questo raffreddato ne diminuiva la tensione o prima di agire, o nell'atto stesso in cui esercitava la sua pressione sullo stantuffo. La graude scoverta di Watt è riposta nel condensare il vapore dopo che à esercitato la sua pressione in serbatoio distinto detto *condensatore*.

236. **Macchina a semplice effetto.** Watt applicò prima-

mente il suo trovato alla macchina detta *a semplice effetto* in sostituzione della macchina atmosferica. Lo stantuffo sale nel cilindro per la sola azione del peso dell'asta della tromba trasmessagli mediante il bilanciere, e discende per la differenza delle pressioni del vapore sulla sua faccia superiore e sulla inferiore. Per intendere come operino queste pressioni, convien notare che lo stantuffo si muove in un cilindro chiuso ai due estremi; v'à però due tubi, uno nell'alto, l'altro nel basso, che il fan comunicare con un condotto laterale del vapore, nel quale esistono tre valvole. Dalla caldaia il vapore viene ad agire sopra lo stantuffo, allorchè si apre la prima valvola, che dicesi perciò *valvola di ammissione*. Nello stesso tempo si apre una seconda valvola chiamata di *esaurimento*, per mezzo di cui il vapore introdottosi sotto lo stantuffo, come or ora sarà detto, comunica col condensatore, e la tensione ne diventa tenuissima. In ultimo allorchè lo stantuffo è arrivato al punto infimo della sua corsa le due valvole precedenti si chiudono, e se ne apre solo una terza che dicesi *valvola di equilibrio*: questa fa comunicar tra loro lo spazio superiore e l'inferiore dello stantuffo, il quale premuto con uguale forza sulle opposte facce sale agevolmente per la sola azione del bilanciere.

Tromba ad acqua fredda, tromba ad aria, tromba alimentatrice. Affinchè il condensatore possa compiere il suo uffizio, una tromba premente vi lancia di continuo uno spruzzo di acqua fredda, ed una tromba aspirante ne toglie l'acqua calda che vi si accumula tra per quella iniettatavi dalla tromba premente, e per la condensazione stessa del vapore. Questa seconda dicesi *tromba ad aria* poichè veramente ne aspira l'aria trasportatavi così dall'acqua d'iniezione, come dal vapore che seco la trae dalla caldaia. Ove l'aria non fosse sottratta dal condensatore, la sua pressione impedirebbe l'accesso al nuovo vapore dal cilindro. Da ultimo una terza tromba premente anche essa spinge nella caldaia tanta quantità di quest'acqua già calda quanta da essa se ne solleva in vapore, e per tale uffizio à il nome di *tromba alimentatrice*.

Sono ancora in uso in alcuni luoghi le macchine di Watt a semplice effetto; ma con qualche modificazione introdotta di poi.

237. **Macchina di Watt a doppio effetto.** Per avere nelle macchine a vapore un motore universale era indispensabile che l'azione del vapore sullo stantuffo non fosse già intermittente, ma il seguisse in ambe le corse opposte. Watt conseguì questo

scopo con la sua macchina a *doppio effetto*, la quale è il tipo di tutte le macchine a vapore di tante svariate forme, sieno fisse sieno mobili. Il vapore è guidato ora sopra lo stantuffo, ora sotto:ed alternamente gli si apre anche la via al condensatore, o all'esterno se trattasi di macchina senza condensazione. Il sistema di distribuzione in prima adottato sul principio di Watt era molto complicato. Maudsley usò la *chiave a quattro aperture*, alla quale pel soverchio attrito fu poscia sostituita la *valvola a tiratoio*, che soddisfa pienamente allo scopo.

Distribuzione del vapore. Con questo nome vien distinta la valvola stessa a tiratoio,la quale con tutto ciò che serve a darle moto vien rappresentata dalla fig. 222. Sulla parete del cilindro, in cui

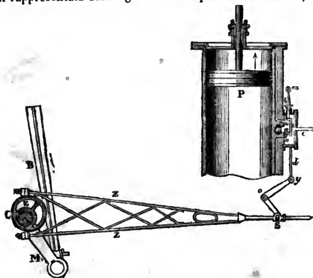


Fig. 222.

scorre lo stantuffo P sono scolpite tre luci *u*, *n*, *a*: che fan capo per mezzo di appositi canali la prima *u* nel cilindro sopra lo stantuffo, la seconda *n* sotto lo stantuffo, la terza *a* nel foro *r*, e per esso al condensatore. Su questi tre fori si striscia il tiratoio, traversato dal condotto *c* per dare ingresso al vapore che vien dalla caldaia, del quale la costruzione è tale da permettere un diverso passaggio al vapore a norma delle sue posizioni. Non è difficile intendere, che come trovasi nella figura il vapore per l'orifizio *n* va sotto lo stantuffo, mentre essendo aperti insieme gli altri due

u ed *r*, quello che à agito sopra lo stantuffo va nel condensatore.

Il moto alternativo ascendente e discendente del tiratoio si genera nel seguente modo. Per mezzo delle due aste *b*, *d* articolate in *m* esso è congiunto all' estremo *y* d' una leva zancata, di cui *o* è il punto fisso: all' altro estremo vanno a terminare i tiranti Z Z che acquistano un moto di va e vieni orizzontale in virtù del così detto *eccentrico*. Il quale è un disco E, traversato dall' albero A, ma in modo che non coincidano i loro centri: è inoltre circondato da un anello C a leggerissimo attrito, al quale son raccomandati i

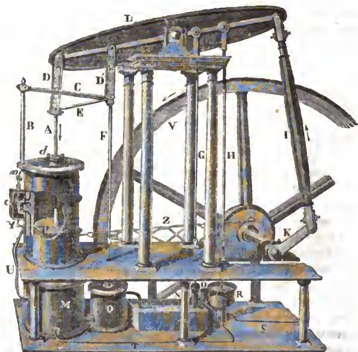


Fig. 223.

tiranti Z Z. Non fa bisogno d'altro a persuadersi come allorchè la manovella M mossa dall'asta B determina a girare l'albero A, l'anello C e i tiranti acquistino un moto alternativo orizzontale, il quale deve produrne un altro simile, ma verticale.

Ora finalmente può intendersi il complesso d' una macchina a doppio effetto, e la descrizione delle singole sue parti (fig. 223).

Apparecchio distributore.

c apertura per la quale il vapore dalla caldaia entra nell' apparecchio distributore.

a orifizio pel quale s'introduce il vapore dopo avere agito sopra o sotto lo stantuffo, ed è guidato pel tubo U nel condensatore.

b asta che trasmette il movimento alla valvola a tiratoio.

m verga che unisce l'asta del tiratoio alla leva zaucata Y, ai tiranti Z Z ed all'eccentrico *e*.

e eccentrico congiunto all'asse.

Apparecchio funzionante.

A asta dello stantuffo P, la quale senza permettere l'uscita al vapore deve traversare la base superiore del cilindro; e perciò scorre dentro la così detta *scattola a stoppa d*.

B verga fissata sul cilindro e destinata a sostenere il braccio di richiamo C.

C *braccio di richiamo*, il cui uffizio è regolare il moto del parallelogrammo.

D, D', E tre verghe che con parte del bilanciere costituiscono il *parallelogrammo articolato* di Watt. Senza di esso congiungendosi immediatamente l'asta dello stantuffo all'estremità del bilanciere, poichè questa è costretta a descrivere un arco, costringerebbe l' asta a piegarsi per opposti lati, e in breve il meccanismo sarebbe guasto. Mentre, essendo variabili gli angoli del parallelogrammo, l'asta dello stantuffo non ostante la oscillazione del bilanciere resterà sensibilmente nell' asse del cilindro.

F asta della *tromba ad aria*, che toglie dal condensatore l'acqua calda con l'aria che vi si accumula, e la versa nella vasca N.

C asta della *tromba alimentatrice*, che spinge nella caldaia l'acqua calda aspirata dal condensatore.

H asta della tromba *ad acqua fredda*, che l' attinge e la inietta nel condensatore per mezzo del tubo adduttore T.

I asta del bilanciere L destinata a trasformarne il moto alternativo in moto di rotazione continuo, e ciò articolandosi con la manovella K congiunta all'albero del volante.

L *bilanciere*, o grande asta di ferro oscillante tra due cuscinetti solidamente impiantati sul basamento stesso della macchina.

M *condensatore.*

N vasca in cui si versa l'acqua calda che la tromba ad aria aspira dal condensatore.

O *serbatoio d'aria* della tromba premente alimentatrice necessario ad ottenere un effetto contінno.

Q cilindro della tromba ad aria comunicante col condensatore M.

R serbatoio della tromba ad acqua fredda, la qnale per mezzo del tubo T viene spinta nel condensatore.

S condotto dell'acqua dalla tromba alimentatrice alla caldaia.

V *volante* o *volano*; è nna grande ruota di ferro fnso invariabilmente conginnta all'albero, messa in rotazione dal bilanciere per mezzo dell'asta I e della manovella K. Fitz-Gerard fu il primo a valersene per rendere regolare il moto dell'albero con distribuire sovra nna grande massa le piccole anomalie altrimenti inevitabili. Secondo scopo del volante si è fare che l'albero oltrepassi i così detti *punti morti*, cioè le due posizioni in cui l'asta e la manovella ànno la medesima direzione o sovrapponendosi (*punto morto inferiore*) o distendendosi (*punto morto superiore*); nelle quali la forza applicata alla manovella nel senso di sna lunghezza non avrebbe virtù da farla girare; ma l'albero si volge in forza della velocità acquistata, e tanto più agevolmente quanto è maggiore la massa che trae seco, e da quanto maggiore velocità è animato.

Oltre tntte qneste parti v'è pure nn *regolatore a forza centrifuga*, di cui abbiamo indicato la forma altrove (42 fig. 2[a]). Il moto dell'albero della macchina per mezzo d'una striscia di cnoio senza fine volge l'asse del regolatore. Scostandosi le dne sfere, un anello che si trova all'estremo inferiore della losanga articolata ascende, e più o meno secondo la maggiore o minore velocità di rotazione. Questo moto in sn dell'anello si trasmette per mezzo di leve ad una valvola che restringe il passaggio del vapore dalla caldaia nel tiratoio; per converso il moto in giù rende più ampio qnel passaggio: con che l'azione della macchina si accelera nel primo caso, si rallenta nel secondo; o altrimenti il regolatore tempera da se medesimo la velocità del sistema.

238. Caldaia. La *caldaia* vien detta pure *generatore* del vapore. La fauno di lamina di ferro o meglio di rame: non di ferro fnso per la sua fragilità. La spessezza è varia secondo la pressione da sostenere. Ma ad ogni modo fa bisogno provar le caldaie prima di porle in attività, per mezzo di tromba premente o di uno strettoio idraulico: il migliore regolamento è che sieno provate a pressione tripla di qnella che debbono sostenere in opera.

La forma delle caldaie sul principio era sferica, la quale si adatta a ricevere uguale pressione per ogni verso; ma à l'inconveniente di presentare poca superficie al fuoco. Poscia fu variata in mille modi: la caldaia nelle macchine a bassa pressione ebbe tra le altre la forma detta *a carro*, con superficie cilindrica convessa di sopra, ed ondulata di sotto; una concavità nel mezzo, e 'l fornello sottoposto: sovente è terminata da superficie piane con varie concamerazioni. Ma poichè la elasticità del vapore di dentro tende a sfigurare queste maniere di caldaie spingendo in fuori le parti rientranti, e costringendo le superficie piane a diventare convesse, si rigettano tutte per le macchine ad alta pressione; ed anche per le altre se sono fisse si preferisce d'ordinario la forma d'un cilindro allungato con agli estremi due mezze sfere: talvolta il focolare è interno, tale altra è esterno.

La fig. 224 rappresenta una di queste caldaie con la sezione lon-

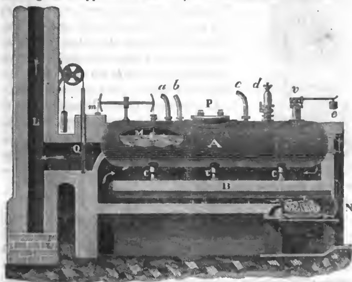


Fig. 224.

gitudinale del fornello, la fig. 225 ne mostra la sezione trasversale.

A è il corpo della caldaia riempito d'acqua sin presso ai tre quarti. Sotto la caldaia si veggono i così detti *bollitoi* B, B, cioè due cilindri uno da ciascun lato, presso che della stessa sua lunghezza, ma di diametro assai minore, e le si congiungono per mezzo de'condotti C, C, C: scopo de'bollitoi si è di accrescere la superfi-

cie di riscaldamento. Il fornello poi si costruisce sì fattamente che la fiamma e i prodotti della combustione sien costretti rasentare gran parte della superficie della caldaia. Infatti per tutta la sua lunghezza v'è una chiusura orizzontale D all'altezza de'bollitoi, e altre due verticali, che passano pe' condotti C e dividono in tre parti tutto lo spazio circostante. La fiamma del focolare E (fig. 224) alimentata con legna o carbon fossile una coi prodotti della combustione in virtù della corrente aerea che entra per la porta N, s' introduce prima nel condotto F (fig. 225) che la guida sino all' estremo opposto della caldaia: di là viene in avanti pel condotto G, poscia dividendosi ne'due condotti laterali H, H, torna indietro, e giunta al fondo si lancia nella ciminiera L. Il camino della ciminiera è traversato da una lamina di ferro Q detta *registro* sospesa verticalmente ad una puleggia ed equilibrata con contropeso, che sollevandosi o abbassandosi ne rende più ampio o più angusto il passaggio, e regola l'aspirazione.

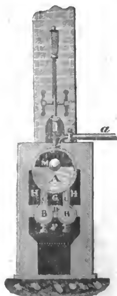


Fig. 225.

La superficie di riscaldamento, cioè la superficie della caldaia esposta al fuoco, deve avere estensione corrispondente alla quantità di vapore da prodursi in un dato tempo: ed è per ogni *cavallo di forza* un metro quadrato e tre decimi.

Le altre parti della caldaia sono:

a tubo che conduce il vapore dalla caldaia nell'orificio *c* (fig. 222) dell'apparecchio distributore.

b tubo che guida il vapore ad un manometro: se la macchina è fissa si usa il manometro ad aria libera, se mobile quello ad aria compressa, o in ambo i casi il metallico.

c tubo pel quale la tromba alimentatrice inietta acqua nella caldaia.

v *valvola di sicurezza* col peso *e* che la preme. È suo uffizio non permettere che la tensione del vapore raggiunga mai il limite di resistenza della caldaia. Anzi è bene che ogni caldaia ne abbia due, una delle quali sia inaccessibile al macchinista: sarà allora

in suo arbitrio far che la macchina cammini con forza minore,ma non avrà mai libertà di accrescerla con pericolo di scoppio. Dippiù è dimostrato esservi una relazione tra l'apertura della valvola di sicurezza e la estensione della superficie di riscaldamento, cioè 1:1000 perchè all'aprirsi di quella la caldaia si trasformi in serbatoio aperto e l'acqua vi bolla a 100°; non così se è minore. Bollirebbe a 105° se la sezione fosse 1/5000, a 115° se 1/10000, e non bollirebbe che a 137° se la sezione si riducesse a 1/20000.

M *galleggiante* destinato a far conoscere il livello dell'acqua. È una sfera o un parallelepipedo rettangolare di pietra, il quale si tiene sull'acqua tra per la spinta del liquido e per un contropeso *m* che pende dal lato opposto d'un bilanciere, a cui è legato il galleggiante. L'asta di questo inclinandosi per un verso o per l'altro indicherà che il livello dell'acqua supera l'altezza normale o non la raggiunge. Dalla mancanza di siffatta conoscenza la caldaia corre gravissimo rischio di scoppiare. Imaginiamo di fatti si abbassi il livello dell'acqua a segno, che resti esposta direttamente all'azione del fuoco una porzione della caldaia,a cui non risponde acqua nell'interno: la superficie metallica diventerà rovente, e di quì una doppia cagione di scoppio. Poichè se in tale condizione delle pareti per una cagione qualunque venga ad aprirsi la valvola, l'acqua entrerà in ebollizione, e venendo copiosa a contatto della parete sì calda si svolgeranno torrenti di vapore, che non trovano sufficiente uscita per l'orifizio della valvola. In secondo luogo il raffreddamento pressochè istantaneo delle lamine metalliche ne modifica così la costituzione molecolare da renderle meno tenaci e più disposte a frangersi per azione del vapore. Perciò anche coi due mezzi seguenti si è procurato di assicurarsi della vera posizione del livello dell'acqua.

n tubo di livello. Consiste in un cannello di cristallo aggiustato verticalmente di fuori alla caldaia e comunicante coll'interno per le due estremità: è sito a tale altezza che il livello dell'acqua nella caldaia deve rispondere presso a poco al suo mezzo. Basterà guardarlo per assicurarsi se quella condizione è adempinta; si costuma puranco di fissare alla caldaia due chiavi, l'una poco di sopra, l'altra poco di sotto all'altezza che deve avere il livello; e l'à veramente se dalla inferiore esce acqua, dalla superiore vapore.

d fischietto di allarme. Il galleggiante ed il tubo di livello richieggono un fochista vigilante: il fischio di allarme serve a riscuotere

un fochista negligente. Il meccanismo consiste in due galleggianti ineguali di dimensione e di peso congiunti per una leva, alla quale è pure fissata dal lato del galleggiante di mole maggiore una valvola, che chiude un orifizio della caldaia; quando il livello dell'acqua si abbassa oltre il dovere, scende pure il galleggiante e la valvola si apre: ne sfugge un getto di vapore che venendo ad incontrare la campana *d* cagiona un suono stridente acutissimo.

P *porta della caldaia*. Serve a nettarla e a raggiustarla. Il difetto di diligenza nel pulire la caldaia è stato sovente cagione di scoppio. Imperocchè l'acqua di cui si fa uso ad alimentarla forma un deposito, il quale crescendo sempre più di spessezza impedisce il contatto tra metallo e acqua, e quello diviene rovente. Se dunque per accidente quella crosta si screpola, l'acqua s'infiltra nelle fenditure e toccando il metallo rosso si trasforma di presente in copioso vapore. Alcnni usano introdurre nell'acqua delle sostanze, che stemperate e ridotte in poltiglia col movimento idrostatico impediscono la formazione del deposito: ma vale meglio a dati intervalli sospendere l'azione del fuoco e pulire la caldaia.

239. **Perfezionamenti arrecati alle macchine a vapore.** Sarem contenti d'indicare i principali.

1.° *Macchine ad espansione*. Le macchine a semplice effetto si dicono agire a *piena pressione* se la valvola di ammissione dell'apparecchio distributore rimane aperta per tutta intera la corsa dello stantuffo: ma se dopo una frazione di corsa si chiude, e lo stantuffo segue nel suo moto in virtù del vapore che a quel momento si trova nel cilindro, si dice che il vapore agisce *ad espansione* o per *dilatazione*: e si dilata veramente sinò a riempire la capacità del cilindro. La idea delle macchine a dilatazione devesi allo stesso Watt; in seguito però fu messa in opera anco in quelle a doppio effetto e in varî modi. Due vantaggi se ne traggono: il primo d'impedire l'urto dello stantuffo contro la base del cilindro: il secondo, economia di combustibile ad uguaglianza di effetto utile. Per intendere come avvenga questo profitto, imaginiamo, che la valvola di ammissione si chiuda precisamente allorchè lo stantuffo è al mezzo della sua corsa: allora si sarà sviluppata la metà del vapore di quello dovuto alla corsa intera, e quindi consumatosi anche la metà del combustibile si sarà prodotta la metà dell'effetto utile totale: cominciando da questo istante il vapore agisce per dilatazione, e tutto l'effetto che se ne ricava è un risparmio dovuto alla

dilatazione. Se vuolsi che una macchina a dilatazione cagioni lo stesso effetto utile d'un'altra a piena pressione, il cilindro della prima deve essere maggiore di quello della seconda nella stessa ragione della dilatazione che si adopera: e ciò non ostante la prima consumerà minore copia di vapore e di combustibile.

2.° Le *macchine a due cilindri* di Woolf ànno anche per oggetto di fare che il vapore agisca con dilatazione. I cilindri sono della medesima altezza ma di diametro ineguale, e gli stantuffi perchè congiunti si elevano e si abbassano insieme: il vapore dopo agito nel primo cilindro passa nel secondo e si dilata.

3.° *Macchine ad azione diretta e a cilindro oscillante.* Dicesi ad *azione diretta* la macchina in cui è soppresso il bilanciere, e l'asta dello stantuffo si articola coll'asta della manovella. Perchè quella non soffra deviazione e danno spinta ora a dritta ora a sinistra secondo che la manovella si trova da un lato o dall'altro dell'albero, è guidata tra due regoli paralleli fissati sul cilindro.

Giorgio Stephenson à ideato di rendere anche più semplice la trasmissione del moto direttamente dall'asta dello stantuffo alla manovella. E perchè quella resti sempre nel suo asse, si è fatto mobile il cilindro stesso tra due cardini, intorno ai quali oscilla. E siccome i cardini sono l'unica porzione immobile del cilindro, così per uno d'essi entra il vapore dal generatore nel cilindro, ed esce per l'altro.

4.° *Macchina a vapori combinati.* Dopo che il vapore à agito nel cilindro e va nel condensatore o si sperde nell'atmosfera, contiene ancora la massima parte del calore impiegato a trasformare l'acqua in vapore; e questo nelle macchine comuni è perduto. Perciò si ebbe idea d'impiegarlo a cangiare in vapore altro liquido più volatile dell'acqua per servirsi insieme della forza elastica di ambo i vapori. A tale scopo si è fatto ricorso all'etere, al solfuro ed al percloruro di carbonio, al cloroformio. In quest'ultimo per verità si è trovata grande economia; ma somma diligenza richiedesi in raccorne il vapore che à esercitato la sua pressione, perchè non divenga più considerevole la perdita che vorrebbesi attenuare.

240. **Macchina ad aria calda di Ericsson.** La perdita del calore di vaporizzamento è sempre immensa nelle macchine a vapore. Per questa ragione si è pensato impiegar l'aria calda qual forza motrice: val quanto dire si eleva la temperatura d'una massa d'aria in uno spazio chiuso, e fattala agire in una macchina

somigliante in tutto a quella a vapore, le si apre poi l'uscita nell'atmosfera. È vero che questa è pur calda nel dissiparsi dopo compita la sua azione, e v'è dispersione di calore; ma non è già il calore latente di vaporizzazione che sappiamo essere considerevolissimo. Una grave difficoltà opponevasi a porre in atto il progetto; ed è che conveniva dare alla macchina dimensioni smisurate, o spingere molto il riscaldamento per dare all'aria tensione atta a produrre un lavoro utile sufficiente : in ambo i casi la perdita di calore pareggia quella delle ordinarie macchine a vapore. Ma Ericsson è pervenuto a superarla con fare che l'aria dopo esercitata la sua pressione sullo stantuffo ed ancora calda, depositi pria di sperdersi nell'atmosfera la massima parte del calore traversando un ampio sistema di tele metalliche sottili e fitte; queste poi il cedono di nuovo all'aria esterna che entra ad agire, e riscaldata poco più oltre da una sorgente di calore acquista la elasticità competente.

La figura 226 rappresenta il meccanismo. Lo stantuffo A si muove nel cilindro B, la cui parte superiore per gli orifizî *a*, *a*, comunica coll'atmosfera: quello è di grande spessezza e pieno di argilla e carbone in polvere per impedire dispersione di calore. Un secondo stantuffo C congiunto al primo con le verghe *d*, *d*, si muove nel cilindro D di minore diametro, del quale la porzione che trovasi sotto lo stantuffo comunica pure nel basso con l'aria esterna per gli stessi fori *a*, *a*, e nell'alto pel foro *c* munito di valvola che si apre di sopra in sotto. Il moto poi dello stantuffo C si trasmette ad un bilanciere per mezzo dell'asta E.

Di lato a questo sistema di cilindri v'è il serbatoio F con aria compressa: pel condotto M l'aria dal cilindro D aprendosi la valvola *e* di sotto in sopra viene nel serbatoio F: per l'altro N l' aria dal serbatoio all'aprirsi della valvola *b* traversa il sistema di tele metalliche G e viene in B. Da ultimo quando tutte le altre valvole son chiuse, l'aria del cilindro B traversando il sistema G per l'apertura della valvola *f* e pel tubo adduttore O si disperde nell'atmosfera. Sotto il grande cilindro B è sito il fornello H.

Ciò posto, allorchè gli stantuffi A, C, sono a contatto delle basi de'cilindri B, D, l'aria compressa nel serbatoio F venendo pel condotto N apre la valvola *b*, si riscalda prima in parte traversando il sistema di tele metalliche, e poscia completamente nel cilindro B: solleva allora lo stantuffo A, e con esso l' altro C. Intanto l'aria che trovavasi nel cilindro D sopra lo stantuffo vien compres-

sa, e forzando la valvola *e* penetra nel serbatoio F, e supplisce quella che n'era uscita. Pervenuti i due stantuffi al punto sublime di loro corsa, la valvola *b* si chiude, e si aprono invece le altre due *f*, *c*: per l'orifizio della prima l'aria che à agito nel cilindro B sfug-

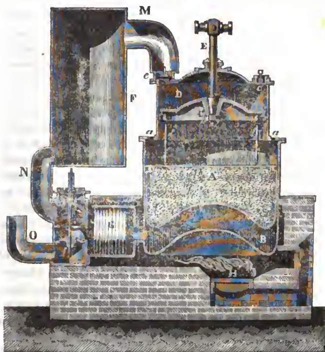


Fig. 236.

ge nell'atmosfera traversando di nuovo il sistema G pel condotto N; e mentre gli stantuffi scendono pel loro peso e, se si vuole, per un altro aggiunto, l'aria esterna penetra pel foro della valvola *c*.

È questa una macchina a semplice effetto: adunque due di esse applicate ad uno stesso bilanciere il faran muovere assolutamente come una macchina a vapore a doppio effetto. Macchine di tale natura agiscono fin dal 1852 nell'opifizio di Ericsson a New-York, e sono state anco applicate con successo alla navigazione.

241. Battelli a vapore. Comunque la prima idea di applicare alla navigazione il vapore sia dovuta a Papin, che nel 1695 insegnò come trasformare il moto alternativo d'uno stantuffo nel moto

rotatorio d' un albero con agli estremi remi e ruote; e Perier nel 1775 eseguisse sperienze di questa natura a Parigi, e Jouffroy nel 1781 facesse navigare di fatti una barca sulla Sâone; pur tuttavolta i tentativi mal riuscirono, e 'l primo battello a vapore destinato a trasportare con successo viaggiatori e mercanzie fu costruito da Fulton a New Vork nel 1807. Sì mirabile trovato non fu ricevuto in Inghilterra pria del 1812, e solo nel 1816 in Francia.

È facile concepirne il meccanismo, poichè è il comune delle macchine a vapore. Ordinariamente due macchine a doppio effetto agiscono sul medesimo albero o con bilanciere, o senza, od anche a cilindri oscillanti. Le loro manovelle sono ad angolo retto l'una riguardo all'altra; così son sempre adatte a sorpassare i punti morti. La condensazione si opera nell'acqua stessa del mare.

Le ruote sono a palette, per l'ordinario fisse; ma presentano l'inconveniente d'incontrare l'acqua percuotendola orizzontalmente, donde molta perdita di forza motrice: migliore è l'uso delle ali mobili, che penetrano nell'acqua a coltello e poscia la premono normalmente, sebbene tal meccanismo sia più facile ad alterarsi.

Alle ruote vien sostituita con vantaggio una specie di elica collocata sotto la chiglia coll' asse parallelo all'asse della nave poco in avanti del timone. Per comprendere la maniera di azione dell'elica figuriamoci che un battello sia munito d'una vite ad asse orizzontale e parallelo alla sua lunghezza, e che mentre questa gira per forza del vapore intorno al suo asse liberamente volgendosi dentro anelli fissati al battello stesso, introducasi pure in una chiocciola tenuta in posizione fissa: è chiaro che la vite girando si avanzerà nella chiocciola, e trarrà seco il battello. Or la elica di un piroscafo è appunto la vite di cui trattiamo, ed opera in tutto allo stesso modo, sol che l'acqua in cui si volge fa le veci della chiocciola fissa: la quale per la resistenza che esercita sulla superficie inclinata dell'elica le imprime un movimento di traslazione tanto maggiore, quanto più rapidamente gira.

L'elica è da preferire alle ruote, poichè la sua azione è sempre regolare e costantemente diretta secondo l'asse della nave; mentre in varie circostanze le ruote non pescando ugualmente ricevono dall'acqua pressioni ineguali, e tendono a produrre un moto di rotazione combinato al progressivo. Pur le ruote non sono del tutto abbandonate per l'inconveniente che presenta l'elica di dover girare con estrema velocità, donde presto ne rimane logoro il meccanismo.

242. **Locomotive.** Da tempo abbastanza remoto furono usate le strade a rotaie di ferro, e fu impiegata sovr'esse ogni natura di forza motrice, uomini, animali, macchine idrauliche, sovente anche il peso stesso de'materiali da trasportare. È pure antica la idea delle vetture mosse dal vapore. Cugnot nel 1769 ne costruì una che doveva camminare per le strade ordinarie. Ma i tentativi furono sempre inefficaci finchè non si riuscì a dare tal forma alla caldaia, da presentare sufficiente superficie di riscaldamento senza accrescerne stranamente il peso. Seguin sciolse questo problema nel 1828 con la sua caldaia a sistema di tubi, detti anche *generatori* di Perkins.

La fig. 227 rappresenta una locomotiva completa di più moderna costruzione, la fig. 228 ne dà la sezione longitudinale, le altre 229, e 230 ne sono due sezioni trasversali fatte ai due estremi.

Nelle locomotive mancano del tutto il parallelogrammo, il bilanciere, il volante. Due cilindri A (fig. 227), val quanto dire gli *apparecchi funzionanti*, son collocati in avanti della locomotiva uno da ciascun lato, orizzontali o leggermente inclinati ; nei quali si muovono due stantuffi, che ricevono la spinta del vapore ora per un verso ora per l'altro. L'asta B di ogni stantuffo scorre nelle guide *a*, *a*, ed è articolata ad una seconda asta C, la quale è fissata con l'altro estremo al bottone D come ad un *eccentrico*, poichè è sito ad una certa distanza dal centro della corrispondente ruota: le imprime dunque un moto di rotazione al pari d'una manovella. Le manovelle dai due lati sono ad angolo retto tra loro.

Il vapore entra nel cilindro per mezzo di valvole a tiratoi mosse da eccentrici siti nell'asse delle ruote motrici. L è la scattola del vapore, K l'asta del tiratoio che costituisce un lato della leva zancata H: questa con la tacca *b* (fig. 228) è congiunta all'asta G dell'eccentrico F, che le comunica moto di *va e vieni*.

Per cangiare la direzione del moto d'una locomotiva debbono le ruote poter girare per un verso o per l'opposto. A tal fine l'asse à due eccentrici F, F', le cui aste G, G' terminano con le tacche *b*, *b'* rivolte inversamente, ciascuna delle quali può afferrare l'estremo della leva H. Sono queste sorrette a conveniente altezza per mezzo della leva zancata *c d e* da due aste che partono dal punto *e*. Il macchinista tirando o spingendo una lunga verga *f*, che si articola nel punto *c*, può fare che il braccio della leva H s'impadronisca della tacca *b* o dell'altra *b'*. A tal meccanismo se ne sostituisce ora con vantaggio un altro recente e più semplice.

Il corpo della caldaia vien costituito dal grande cilindro orizzontale N di rame. Dalla parte posteriore v'è la cassa di riscalda-

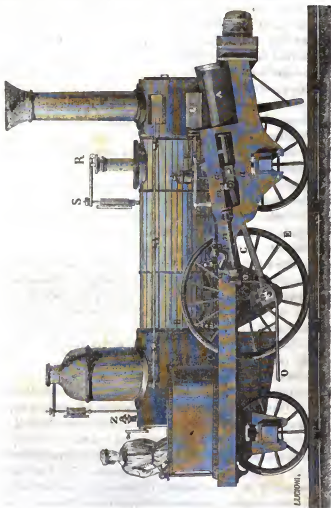


Fig 227.

mento M, che à in fondo il focolare, in cui per la porta *g* si gitta il combustibile, ordinariamente del coke; questa tutto all' intorno à un doppio fodero con acqua. Segue poscia un sistema di tubi in gran numero, 125 a 150, del diametro di 4 a 5 centimetri, i quali

da un estremo terminano alla cassa di riscaldamento, dall'altro alla cassa del fumo: tutto lo spazio che rimane fra essi è pieno di

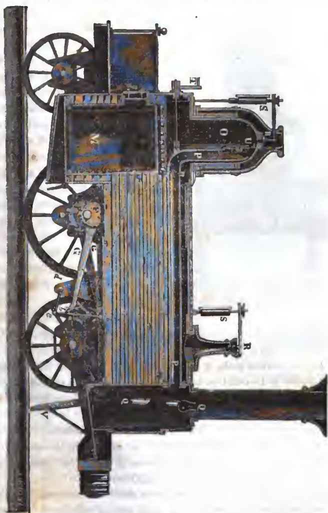


Fig. 228

acqua. La fiamma e i prodotti della combustione dalla cassa di riscaldamento per l'interno de'tubi vengono alla cassa del fumo, e si spandono per la ciminiera. Con questo artifizio la superficie di riscaldamento giunge a 50 metri quadrati, donde quella sì grande quantità di vapore richiesta al moto rapido di una locomotiva.

O è il serbatoio del vapore nella cassa di riscaldamento.

P è il condotto del vapore, che parte dal serbatoio O, e traversa la lunghezza della caldaia: all'estremo anteriore si biforca per guidare il vapore ai cilindri.

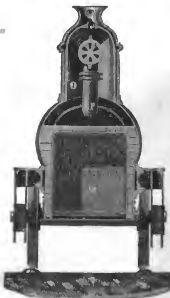


Fig. 229.

Q, Q, son due tubi pei quali sfugge il vapore dopo aver agito nei cilindri: si congiungono sotto la ciminiera, nella quale spinto il vapore rende attiva l'aspirazione.

R, R sono valvole di sicurezza applicate una al serbatoio del vapore, l'altra alla parte anteriore della caldaia. Queste invece di esser gravate da un peso, il quale si sposterebbe nel moto e non eserciterebbe pressione costante, sostengono la forza di trazione di una molla contenuta nel cilindro S, che più o meno tesa è capace di graduazione.

T è la manovella del regolatore U, ossia del passaggio al vapore dal serbatoio nel condotto P, e quindi ai cilindri. Basta girare da un lato tal manovella o dall'altro per mettere in moto la locomotiva, o per fermarla. Nel secondo caso finchè la locomotiva seguita a camminare per velocità acquistata, gli stantuffi si muoveranno pure nei cilindri ma non con altra azione che di opporre resistenza.

V appendice detto *caccia-pietre*, che serve ad allontanare dalla rotaia qualunque ingombro capace di far deviare la locomotiva.

Z fischietto di allarme che vien messo in azione dall'istesso macchinista e si fa udire a distanza di 2000 metri.

243. **Cavallo-vapore; misura dell'effetto utile d'una macchina a vapore.** La unità per la misura della forza d'una macchina a vapore dicesi *cavallo-vapore*, ed è la necessaria per sollevare un peso di 75 chilogrammi all'altezza di un metro in 1'', o altrimenti equivale a 75 chilogrammetri (96,4°); questa forza è un po'maggiore di quella d'un cavallo animale. Laonde dovendo sollevarsi un peso *p* espresso in chilogrammi all'altezza di

metri m in 1'', il numero de'cavalli sarà $c=\frac{pm}{75}$; e però delle tre quantità c, p, m potrà sempre conoscersi la terza se sono date le altre due. Propongasi ad esempio il seguente problema: a quanti cavalli equivale il lavoro di estrarre da una miniera profonda 27 metri in una giornata di 10 ore 1800 tonnellate di carbon fossile? Avremo p=1800000 (poichè una tonnellata vale 1000 chilogrammi) da sollevarsi a 27 metri di altezza in 36000''; e però in 1'' ad un metro dovrà elevarsi un peso di 1350 chilogr. I cavalli dunque necessarî saranno $\frac{1350}{75}=18$.

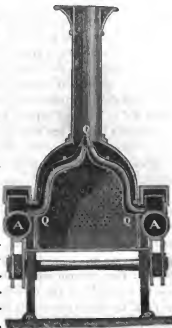


Fig. 230.

Per eseguire poi il calcolo della forza d'una macchina a vapore bisogna *tener conto della tensione del vapore, non che dell' ampiezza e della corsa dello stantuffo.* Supponiamo ad esempio che la tensione del vapore sia di atmosfere 3 1/2, e 'l diametro dello stantuffo 80 centimetri. Poichè sopra una superficie d' un centimetro quadrato la pressione di un'atmosfera è di chilogr. 1,033, quella di atmosfere 3 1/2 sarà 3,$^{\text{chil.}}$ 6155. Se dunque lo stantuffo à diametro di 80 centimetri, la superficie sarà 3, 1416 $(40)^2$, cioè 5026, 56 centimetri quadrati; e quindi la pressione totale, che lo stantuffo sopporta, è di 5026,56×3,$^{\text{chil.}}$ 6155, che uguaglia 18174 chilogrammi. Ciò vuol dire che una forza di vapore di tre atmosfere e mezzo operante contro uno stantuffo di 80 centimetri di diametro farà equilibrio ad un peso di 18174$^{\text{chil.}}$ applicato all' asse dello stantuffo. Per averne finalmente l'effetto utile converrà moltiplicare questo numero per lo spazio descritto dallo stantuffo, ossia per la lunghezza della corsa: sia questa 0^{m}, 32, ed avremo 18174 chil.×0^{m},32=5816 chilogr.

Il cammino d'una locomotiva si determina considerando che pel

movimento di rotazione impresso alle ruote motrici dal moto di va e vieni delle aste degli stantuffi, e per l'aderenza delle ruote sulla rotaia mentre esse rivolgonsi, la circonferenza si sviluppa come se le ruote e le rotaie fossero dentate, e i denti delle prime s'incastrassero tra quelli delle seconde. La velocità dipende e dal diametro delle ruote motrici, e dal numero di colpi dello stantuffo, poichè la locomotiva si avanza d'una intera circonferenza per ciascuna doppia corsa dello stantnffo. Sia d il diametro della ruota espresso in metri, n il numero delle doppie corse dello stantuffo; il cammino della locomotiva in $1''$ sarà di metri $n\ d\ \pi$, e in nn'ora $3600\ n\ d\ \pi$. Per l'ordinario si à $d = 1^m,40$, $d\ \pi = 4^m,38$; laonde se lo stantnffo facesse una sola doppia corsa in $1''$, la locomotiva percorrerebbe in un'ora $3600 \times 4^m,38 = 15768^m$ = chilometri 15,768; e se vuolsi un cammino di chilometri 47,28 è necessario che lo stantuffo compia tre doppie corse al $1''$.

La resistenza d'un convoglio va calcolata su questo dato dell'esperienza che, se i carri sono in buono stato, e la strada ben livellata, e non vi sono curve, nè variazioni di attrito e di resistenza di aria, richiedesi una forza che sia 1/250 dell'intero peso; o altrimenti per muovere una tonnellata o 1000 chilogr. basta nna forza di 4 chilogr. Per esempio esprimiamo in cavalli la forza richiesta perchè un convoglio di 100 tonuellate acquisti velocità di 36 chilometri l'ora. Lo sforzo necessario sarebbe 400 chilogrammi : il cammino in $1''$ è $\frac{36000}{3600} = 10$; laonde risulta il numero di cavalli $\frac{400.10}{75} = \frac{4000}{75} = 53\frac{1}{3}$.

È poi fuor di dubbio che, siccome l'aderenza delle ruote sulle rotaie à nn limite, così lo à pnre l'effetto d'una locomotiva. Supponiamo infatti assolutamente immobile una locomotiva; se il vapore agisce, le ruote gireranno coi loro assi, ma senza svolgersene le circonferenze, e quindi senza moto progressivo : accade il medesimo se il peso è stragrande, come se la locomotiva fosse legata, o fosse spinta contro un ostacolo invincibile. Or il limite di peso di che può essere gravata una locomotiva è variabile secondo le circostanze. Se il tempo è asciutto, l'aderenza è circa un settimo del peso che gravita sulle ruote motrici; supponendo dunque che il peso d'una locomotiva sia 12 tonnellate, poichè le ruote motrici ne sostengono 5 in circa, l'aderenza sarà $\frac{5000 \text{chil.}}{7} =$

714 chil. Adunque siccome ogni 4 chilogrammi rispondono a una tonnellata di peso del convoglio, una locomotiva potrà tirare un convoglio pesante $\frac{714}{4} = 179$ tonnellate.

CAPACITÀ DE' CORPI PEL CALORE.

244. Quantità di calore ne' corpi. calore specifico. Un termometro indicherà bene se v'è equilibrio di temperatura fra esso ed i corpi con cui si pone a contatto, non mai le quantità assolute di calore che questi contengono, e neppure la relazione tra esse. In fatti la quantità di calore in un corpo dipende in primo luogo dalla massa; e ciò non ostante un termometro immerso, ad esempio, in un chilogrammo o in due di mercurio alla stessa temperatura segnerà lo stesso grado; ma niuno direbbe che queste masse ineguali contengono la stessa quantità di calore. La proporzionalità delle quantità di calore alle masse si rende evidente colla seguente esperienza: se mescoli un chil. di mercurio a 100° con un altro a 0° ne avrai due chilogrammi a 50°; e similmente se uno è a 100° l'altro a 50°, i due chilogrammi segneranno 75°; e poichè la quantità di calore lasciata dalla massa più calda, vien ceduta all'altra, e l'abbassamento di temperatura nella prima è uguale all'innalzamento nella seconda, ne consegue che masse uguali dello stesso corpo àn bisogno della medesima quantità di calore per segnare una stessa temperatura. Se le masse fossero ineguali, la temperatura del miscuglio non sarebbe più la media, ma di tanto più prossima ad una d' esse, quanto maggiore l' eccesso di questa sull'altra (*).

In secondo luogo, e massimamente, sulla quantità di calore nei corpi influisce la loro natura. Per convincersene basterà ripetere la esperienza di poc'anzi mescolando un chilogrammo di mercurio a 100° con uno di acqua a 0°; la temperatura comune sarà non già 50°, ma circa 3°; ossia il mercurio si raffredda di 97° e 'l calore ceduto all'acqua la riscalda di soli 3°. Una medesima quantità di calore dunque non produce lo stesso effetto nel mercurio e nell'ac-

(*) In generale sieno m, m' due masse della stessa natura: t, t' le loro temperature: la temperatura T del loro miscuglio sarà

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'} .$$

qua; e inversamente allorchè masse uguali di mercurio e acqua segnano la stessa temperatura esse non ànno la stessa quantità di calore, ma delle quantità che sono nella ragione di 3:97, o presso a poco come 1:30.

Calore specifico d'un corpo si chiama *la quantità di calore, che la unità in peso di questo corpo assorbe per salire da 0° a 1° relativamente a quello di che abbisogna la unità in peso di acqua per salire ugualmente da 0° a 1°.* Si prende dunque il calore specifico dell'acqua per misura di quello degli altri corpi.

Capacità pel calore è la *esigenza che ànno i diversi corpi secondo loro natura di quantità ineguali di calore per subire un medesimo innalzamento di temperatura.* Laonde la capacità è proporzionale al calore specifico, e li rappresenta uno stesso numero (*). Ciò posto, il calore necessario a produrre in un corpo l'aumento di alquanti gradi di temperatura è nella ragione composta della sua massa, del calore specifico, e del numero di essi gradi. Sia dunque m la massa, c il calore specifico; affinchè il corpo ascenda dalla temperatura t a t', ossia affinchè acquisti l'innalzamento di temperatura $t'-t$, avrà bisogno del calore espresso da

$$mc(t'-t).$$

Abbiam tre mezzi per determinare il calore specifico de' corpi, o la loro capacità termica: 1°. metodo de' miscugli, 2°. della fusione del ghiaccio, 3°. del raffreddamento.

245. **Metodo de' miscugli.** Questo metodo il più antico di tutti e 'l più diretto si attribuisce a Crawford, ma ne parlava già Black nelle sue lezioni a Glascow sin dal 1760. Esso consiste nel mescolare i due corpi a diversa temperatura; il più freddo è l'acqua, l'altro è il corpo di cui vuolsi determinare il calore specifico. Se le masse sono uguali, è chiaro che i calori specifici saranno nella ragione inversa de' cangiamenti di temperatura. Ma in generale le masse non essendo uguali si ragionerà a questo modo. Sia M il peso del corpo, T la sua temperatura nell'atto d'immergersi nell'acqua, c il suo calore specifico da determinare. Sieno pure m il peso dell'acqua, e t la sua temperatura iniziale. Finalmente sieno m' il peso del vase, in cui si fa l'esperienza, c' il suo calore specifico, e la sua temperatura t la stessa dell'acqua.

Immerso nell'acqua il corpo M, sia θ la temperatura comune.

(*) Gl'inglesi Blach, Irvin, e Crawford usarono la espressione di *capacità pel calore*, Wilche professore a Stocolma impiegò l'altra di *calore specifico*.

Sarà dunque T—θ l'abbassamento in M, il quale perciò avrà perduto una quantità di calore espressa da $Mc(T-\theta)$. Invece l' acqua e 'l vase avran guadagnato un aumento di gradi $\theta-t$; e quindi lo accrescimento di calore dell'acqua sarà stato $m(\theta-t)$, e quello del vase $m'c'(\theta-t)$. Adunque poichè il calore perduto da M pareggia quello che àn guadagnato l' acqua ed il vase, ne verrà

$$Mc(T-\theta)=m(\theta-t)+m'c'(\theta-t)=(m+m'c')(\theta-t);$$

donde

$$c=\frac{(m+m'c')(\theta-t)}{M(T-\theta)}.$$

Tutte le quantità del secondo membro sono note, tra le quali anche c', ossia la capacità termica della materia del vase. Questa si determina per una sola sostanza, ad esempio pel rame, immergendo un pezzo di rame riscaldato in un vase pur di rame: si riducono le due incognite ad una, e quella equazione ne dà il valore.

In valersi di questo metodo somma diligenza richiedesi per evitare parecchie cagioni di errore. È importante in prima di rendere minima la influenza del raggiamento termico tra il miscuglio e i corpi circostanti. Ciò si consegue usando una grande massa di acqua relativamente a quella del corpo caldo, con che il cangiamento di temperatura sarà assai tenue. Di qui pure un secondo vantaggio, che non si produce copiosa evaporazione, la quale renderebbe necessaria un'altra correzione. È bene poi si ripetano più volte delle esperienze preliminari, fino a determinare tali proporzioni tra il corpo e l'acqua, che questa abbia da principio temperatura di tanto inferiore a quella de' corpi circostanti, quanto ne diviene poi superiore il miscuglio: vi sarà allora un compenso tra il calore ricevuto ed il comunicato durante l'esperimento. Non occorre dire che i corpi in polvere o liquidi debbono riporsi in piccoli cilindri a pareti sottili, della cui materia bisogna tener conto come di quella del vase esterno.

246. **Metodo della fusione del ghiaccio.** Poichè una massa determinata di ghiaccio à sempre bisogno per fondersi di una quantità costante di calore, se più corpi si scaldino ad una medesima temperatura, e messili successivamente a contatto col ghiaccio raccolgasi ogni volta l'acqua di fusione, le singole quantità di questa misureranno i calori specifici di essi corpi. Laplace imaginò il metodo, e Lavoisier volle impiegare a tal fine il *calori-*

metro a ghiaccio fuso (fig. 231) che porta il nome di entrambi perchè i due fisici sperimentarono insieme nel 1777; la fig. 232 ne dà la sezione verticale. Esso componesi di tre vasi di latta concentrici. L'interno è destinato a ricevere il corpo M, di cui si vuol definire il calore specifico: gli altri due contengono ghiaccio trito. L'acqua di fusione che raccogliesi dal vase A A per la chiave D esprime la voluta misura; il ghiaccio poi del vase esterno B B, la cui acqua si versa per la chiave E, à per uffizio d'impedire la influenza del calore comunicato dall'aria o raggiato da' corpi circostanti.



Fig. 231.

Ecco la maniera di valersi dell'istrumento. Si riscalda il corpo M ad una temperatura fissa t; s'introduce poscia nel calorimetro, e si covre ogni vase aggiustando il ghiaccio, come nella figura. Dopo almen dieci ore secondo Despretz, perchè la massa M scenda da t a 0°, si raccoglie l'acqua di fusione, e pesatala si trovi essere di P chilogrammi. Si ragioni poi a questo modo. Il calore emesso dal corpo M nel raffreddarsi da t a 0°, essendone m il peso e c il calore specifico, sarà mtc; tutto questo calore comunicato al ghiaccio vien rappresentato dall'acqua di fusione P; e perchè ogni chilogrammo di ghiaccio assorbe 79 unità di calore, il calore assorbito sarà 79 P; avrem dunque $mtc = 79$ P; donde

$$c = \frac{79\,P}{mt}.$$



Fig. 232.

217. Metodo del raffreddamento. Gian Tobia Mayer nel 1796 propose di determinare il calore specifico de'corpi aventi non pure la stessa mole e forma, ma trovantisi in tutto nelle stesse condizioni superficiali, misurando il tempo che essi impiegavano per subire un uguale abbassamento di temperatura. Egli stabilì che *il calore specifico è proporzionale*

al tempo del raffreddamento diviso per la densità. Lo stesso metodo venne usato con qualche modificazione da Leslie e Dalton, da Despretz, e da Dulong e Petit fondandosi su questo principio, che *due superficie uguali e della medesima natura perdono nello stesso tempo uguali quantità di calore se partono da una medesima temperatura*.

Dulong e Petit adoperarono un vase di argento o pure di oro *a* (fig. 233) di piccolissime dimensioni a pareti sottili e polite: il riempirono successivamente con pesi uguali delle varie sostanze liquide o solide ridotte in polvere, e aggiustatovi un termometro *t* l'introdussero in un serbatoio metallico V mediante il turacciolo *b*. Il coverchio *ee'* del serbatoio comunica per mezzo del tubo a chiave *drc* con una macchina pneumatica. Ciò posto, si porta a 15° il vasellino *a* mentre il serbatoio si tiene costantemente a 0°: si fa il vuoto in questo, e si nota la durata del raffreddamento da 10° a 5°, il quale di necessità deve essere lentissimo. Or poichè tutte quelle sostanze nel raffreddarsi perdono lo stesso calore in ciascun istante, se per una la velocità del raffreddamento è doppia che per un'altra, il calore specifico della prima è la metà di quello della seconda, e così di seguito.

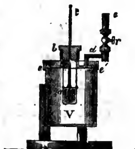


Fig. 233.

Despretz per iscoprire la relazione tra i calori specifici di due solidi, per esempio ferro e stagno, dà loro forma di due cilindri uguali in volume; poscia sospesili nell'aria con fili di seta, e riscaldatili nota le durate del loro raffreddamento. Quindi li covre d'uno strato di vernice e ripete l'osservazione; è chiaro che i tempi impiegati a raffreddarsi saran diversi dai primi, perchè il potere raggiante è cangiato come vedremo. Sovrappone un secondo strato, e poi un terzo, e così di seguito, finchè l'applicazione d'un ultimo strato non più alteri la durata del raffreddamento. In questo caso le quantità totali di calore perduto raffreddandosi i due cilindri di un egual numero di gradi *t* saranno proporzionali alle durate θ, θ' del raffreddamento. Poichè dunque, essendo m, m' le due masse, c, c' i calori specifici, possiam rappresentare le quantità di calore che esse perdono con mct, $m'c't$,

avremo $$mc : m'c' :: \theta : \theta',$$

donde s'inferirà agevolmente la relazione tra c e c'.

248. **Conseguenze.** I risultamenti co' varî metodi sebbene non interamente di accordo in quanto alle espressioni numeriche, pur valgono a fermare le seguenti leggi.

1ª. *Il calore specifico de'corpi varia dall'uno all'altro senza alcuna relazione nè alla densità, nè alle altre loro proprietà.*

Ci basterà vederne la dimostrazione nel seguente elenco ottenuto da Regnault col metodo delle mescolanze.

Sostanze	*Calori specifici*	*Sostanze*	*Calori specifici*
Acqua	1,0000	Nichelio.	0,10863
Essenza di terebentina .	0,42590	Cobalto	0,10696
Nero animale calcinato .	0,26085	Zinco	0,09555
Carbon di legno calcinato	0,24111	Rame	0,09515
Solfo.	0,20259	Ottone	0,09391
Grafite	0,20187	Argento.	0,05701
Vetro di termometri . .	0,16768	Stagno	0,05623
Fosforo	0,18949	Antimonio	0,05077
Diamante	0,14687	Mercurio	0,03332
Ghisa bianca	0,12983	Oro	0,03244
Ferro	0,11379	Platino in lamina. . .	0,03243
Acciaio dolce	0,1165	Bismuto	0,03084

2ª. *Il calore specifico d'un medesimo corpo cresce con la temperatura.* Val quanto dire, il calore necessario per innalzare d'un grado la temperatura d' un corpo è tanto maggiore quanto è più elevata la temperatura iniziale. Secondo Dulong e Petit il calore specifico del ferro cresce come qui appresso:

da 0° a 100°	0,1098
200°	0,1150
300°	0,1218
400°	0,1255.

In generale tra 0° e 100 le variazioni sono spregevoli.

3ª. *Il calore specifico d'uno stesso corpo varia con la maniera d'aggregazione.* Infatti Regnault à scoverto che il calore specifico dell'acciaio temperato è 0,1175, quello del non temperato 0,1165 ; il calore specifico del rame di fucina tra 0,09332 e 0,09360, mentre quello del ricotto è 0,09515; lo zolfo naturalmente cristallizzato à un calore specifico di 0,1776, e quello dello zolfo fuso varia col tempo; se è fuso da due anni 0,1763 , se da due mesi 0,1803 , se recentemente 0,1844.

4ª. *È uno il calore specifico degli atomi di tutti i corpi semplici.* Anche questa legge è dovuta a Dulong e Petit , i quali vennero

a tale scoverta avvedendosi che i calori specifici de'corpi sono nella ragione inversa dei loro pesi atomici. Laonde poichè il numero degli atomi esistenti in un corpo è nella ragione inversa del loro peso, ne segue che moltiplicando calore specifico per peso atomico ne risulti costante il calore specifico degli atomi. Questi due fisici ànno esteso la legge puranco ai corpi composti di una medesima composizione chimica.

249. **Calore specifico degli aeriformi**. Trattiamo a parte del calore specifico dei gas perchè più difficile si rende il determinarlo tra per la loro somma mobilità, e per la quasi niuna virtù conduttrice; ed anche perchè è vario dipendentemente da condizioni che non àn luogo pe' solidi e pe' liquidi. Esso può paragonarsi a quello dell'acqua o a quello dell'aria secondo si considera il peso o il volume. Se all'acqua, rappresenta la relazione tra le quantità di calore necessarie per innalzare d'un grado pesi uguali di gas e di acqua. Se all'aria si paragona, è la relazione tra le quantità di calore richieste per elevare d'un grado volumi uguali di gas e di aria. In questo secondo caso i gas van considerati in due modi: o a *pressione costante*, comunque si cambino i volumi; o pure a *volume costante*, qualunque sia la variazione delle pressioni. Si trova in generale il primo calore specifico maggiore del secondo; ma può dedursi l'uno come conseguenza dall'altro.

Delaroche e Berard definirono nel 1812 il calore specifico de'gas a pressione costante valendosi d'un metodo fondato sul principio de' miscugli. Facevano circolare in un serpentino una corrente di gas con velocità e temperature conosciute: il serpentino traversa un serbatoio con acqua e le cede calore. Poichè la quantità di acqua e 'l volume di gas sono noti, è agevole dal riscaldamento dell'acqua e dal raffreddamento dell'aeriforme inferire il calore specifico di quest'ultimo.

Essi pure determinarono il calore specifico de' gas sotto la pressione atmosferica relativamente all'aria, misurando le quantità di calore cedute ad un medesimo peso di acqua da volumi ugnali d'un dato aeriforme e di aria alla stessa temperatura.

Finalmente ei si valsero dell' apparecchio a serpentino, facendovi circolare una corrente moderata di aeriforme caldo insino a che la temperatura ne divenisse stazionaria. Ciò si avvera quando il calore ceduto dall' aeriforme all' acqua pareggia quel che essa perde all' esterno; ed avviene a temperatura più o meno

elevata secondo la capacità maggiore o minore dell' aeriforme.

Da ultimo Regnault è venuto a conseguenze del tutto opposte a quelle ricevute finora. Egli trae dalle sue ricerche che:

1°. la differenza tra il calore specifico a pressione costante e quello a volume costante è oltremodo tenue o nulla; o altrimenti il calore specifico d'un medesimo peso di gas è sensibilmente indipendente dalla sua densità.

2°. il calore specifico dell'aria non cangia colla temperatura.

CALORE RAGGIANTE.

250. **Propagazione del calore in distanza.** Che il calore propaghisi da un corpo caldo non solo per riscaldamento mediato, val quanto dire elevando prima la temperatura degli strati a contatto, i quali poscia riscaldati si trasformino essi medesimi in sorgenti di calore in quanto agli strati più lontani; ma che traversi pure immediatamente lo spazio senza dipendenza dai corpi frapposti, fu dimostrato in prima dagli accademici del Cimento sino dalla metà del secolo XVII. Poscia Newton collocò due termometri in serbatoi di vetro in tutto simili, vuoto l'uno, l'altro pieno di aria; e vide che essi subivano gli stessi cangiamenti trasportati da un luogo ad un altro di diversa temperatura. Scheele concentrò ugualmente con uno specchio concavo il calore emesso da una stufa, fosse tranquilla o agitata l'aria frammezzo; e Prevost non vide alterazione nel calore propagantesi per uno strato d'acqua, che continuamente si cangiava; i quali due fatti pugnano con la supposizione del calore condotto. E finalmente Rumford ripetè nel vuoto barometrico l'esperimento che Newton avea eseguito nel vuoto boileano con uguale riuscita, ma con maggiore rigore d'illazione. Oggidì più agevolmente ripetiam questo fatto allorchè facciam partire luce elettrica e calore da un globo sia pieno di aria sia vuoto.

Calor raggiante, strumenti per misurarlo. Il calore che si propaga com'è detto a distanza chiamasi *raggiante*. Il corpo caldo, o meglio ogni punto della sua superficie, può riguardarsi come il centro d'una sfera, dal quale per ogni verso parte il calore, appunto come da un corpo luminoso si spande luce all'intorno. *Raggio calorifico* è il cammino secondo cui si propaga il calor raggiante.

Gl'istrumenti per misurarlo ebbero nome di *termo-attinometri* (*), e furono varî; ogni squisito termometro fu buono a ciò, ma si preferirono il termoscopio di Rumford, e 'l termometro differenziale di Leslie. Quest'ultimo divenne anche più sensibile, allorchè l'inventore ricovrì quella delle due palle, che doveva riscaldarsi pel calore raggiato, d'uno strato di nero fumo, e la collocò nel foco d'uno specchio concavo, e dorò o inargentò l'altra: vedrem tra breve la ragionevolezza di questa modificazione. Ma tutt'i numeri di sensibilità e di esattezza raccolgonsi nel termo-moltiplicatore di Macedonio Melloni, nativo di Parma, e morto nella sua villa di Portici il 1854. Le parti principali ne sono 1°. la *pila termo-elettrica*, 2°. *un galvanometro*, 3°. *una sorgente di calore*: le teorie della pila e del galvanometro saran date nel libro VIII.

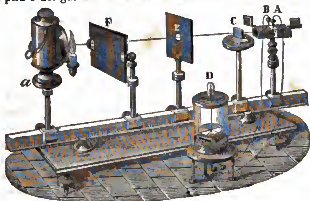


Fig. 234.

Tutto l'istrumento in complesso si vede nella fig. 234. Sur una base di legno è fissata a coltello alla distanza di circa 4 centimetri una verga d'ottone lunga un metro, alla quale si possono congiungere con viti di pressione dove meglio piace de'sostegni destinati a sorreggere le diverse parti. All'estremo a sinistra una sorgente di calore *a*, all'altro estremo la pila termo-elettrica, i cui reofori A,B comunicano col galvanometro D. Fra essi si collocano tutt' i pezzi che servono alle varie esperienze; ad esempio in C i corpi destinati ad essere traversati dal calore pria che questo pervenga alla pila; un diaframma E con uno o più fori di diverso diametro per lasciar passare un numero maggiore o minore di raggi: un altro F compo-

(*) Dal greco θέρμη *calore* e ἀκτὶν *raggio*.

sto di due lamine metalliche a breve distanza l' una dall' altra, il cui uffizio è impedire o permettere loro interamente il passaggio, secondo che è sollevato o abbattuto come nella figura.

Sorgenti termiche costanti. Il Melloni à fatto uso di diverse sorgenti termiche, nelle quali à riconosciuto una costanza di forza necessaria per avere effetti paragonabili, e sono:

1°. *La lampada di Locatelli* (fig. 234) alimentata con olio purissimo, che non à tubo, e'l lucignolo piccolo e compatto non fa fungo, e solo dopo lungo uso si carbonizza. È qnesta una *sorgente di alta temperatura luminosa, e con fiamma.* In alcune circostanze si è puranco servito della lampada di Argant, che a differenza della precedente è munita di tubo.

2°. *La spirale di platino* (fig. 235), ossia un'elica di filo di platino sottile che circonda la fiamma d' nna lampada a spirito: la spirale si arroventa e nasconde la fiamma. Costituisce dnnque *una sorgente di alta temperatura luminosa e senza fiamma.*

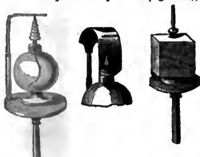


Fig. 235. Fig. 236. Fig. 237.

3°. *Il metallo caldo* (fig. 236), ch'è una lamina di rame coverta di nero fnmo in nna delle facce, e sovrapposta dall'altra ad una fiamma a spirito di vino. Se la lamina è doppia mezzo mlllimetro, e la superficie è di 20 a 22 centimetri quadrati, e la fiamma ne colpisce nn terzo della sua ampiezza, si mantiene costante a 400°. Sarebbe una *sorgente oscura di temperatura elevata.*

4°. *Il cubo con acqua calda* (fig. 237), in cui l'acqua è mantenuta a dolce ebollizione per mezzo di lampada ad alcole. L' acqna vi resta a 100° sotto la pressione di 0,76 di mercurio; è dunqne una *sorgente di bassa temperatura.*

251. **Propagazione del calore raggiante nei mezzi omogenei.** Il calor raggiante si propaga in tutto come la luce, ossia con tale celerità da non potersene calcolare il tempo nelle distanze ordinarie; e se il mezzo è omogeneo in linea retta.

Per dimostrare la *propagazione rettilinea* si presta bene l' apparecchio di Melloni. A tal fine la pila è fissata sopra una seconda

verga di ottone mobile a cerniera intorno alla prima. L'esperienza si esegue a questo modo: disposta ogni cosa come nella fig. 234, i raggi traversano il foro E, e andando a colpire direttamente la pila fan deviare l'ago del galvanometro d'un determinato numero di gradi. Allorchè questo si ferma, si sposti la pila sol di tanto, che non sia più in direzione rettilinea con la sorgente e col foro E, e l'ago immantinente ritorna a 0°.

La presso che *istantanea propagazione* de' raggi calorifici non può dimostrarsi come pe' luminosi a grande distanza, nè può esprimersi con numeri il tempo impiegato, tra perchè la pila termo-elettrica comunque squisitissima è troppo men sensibile al calore di quel che l'occhio alla luce, e perchè i raggi di calore restano immensamente affievoliti dalle sostanze attraverso cui passano. Pictet pare sia stato il primo ad occuparsene, e trovò che un intervallo di oltre 22 metri è percorso in tempo sì breve da non poter essere per nulla misurato. Di molto più convincente è la esperienza di Melloni: egli scelse a sorgente termica una fornace da fondere vetro distante 116 metri dalla pila, che era sita in una stanza di rincontro: due parafuochi intercettavano il passaggio ai raggi calorifici, il primo in vicinanza della fornace, il secondo presso alla pila. Or poichè abbassando prima l'uno, poi l'altro, e calcolando esattamente per mezzo di due cronometri il tempo richiesto per avere la massima deviazione nel galvanometro, non gli venne fatto di osservare differenza veruna, qualunque de' due parafuochi fosse abbassato in secondo luogo, ne inferì a buon dritto, che non è calcolabile il tempo impiegato dal calor raggiante a percorrere uno spazio di 116 metri.

Inoltre che la velocità de' raggi di calore pareggi quella de' raggi luminosi, o poco ne differisca, sembra potersi anche inferire dal vedere che ogni raggiamento luminoso naturale o artificiale va sempre accompagnato da raggiamento calorifico. Melloni scovrì che anco i raggi lunari posseggono virtù riscaldante, i quali concentrati con lente alla Fresnel sulla pila gli produssero nelle circostanze più propizie una deviazione al galvanometro di 4°,8.

252. **Intensità de' raggi calorifici.** Il potere riscaldante dipende da 4 cagioni giusta le 4 leggi che seguono.

1ª. *La intensità del calor raggiante è nella ragione inversa de' quadrati delle distanze.*

Sia un punto la sorgente termica, dal quale come da un centro

sia irraggiato calore tutt'intorno sopra una sfera di raggio uguale ad 1. Se poi si considera una seconda sfera concentrica d'un raggio uguale a 2, la sua superficie riceverà la medesima quantità di calore che la prima; e poichè questa seconda è quadrupla della prima, un suo elemento riceverà una porzione di raggi che sarà la quarta parte di quanti cadono sopra un elemento della seconda; ossia a distanza doppia la intensità termica diviene un quarto. Così a distanza tripla sarebbe un nono. Melloni à comprovato pure coll'esperienza questa illazione del ragionamento.

2ª. *La intensità del raggiamento calorifico è proporzionale all'ampiezza della superficie roggiante.*

In fatti poniamo alla medesima distanza dalla pila, o dal bulbo del termometro differenziale, una serie di cubi di latta con acqua ugualmente calda ma di varia grandezza: se le superficie de'cubi sono nella ragione di 1, 2, 3..., le temperature segnate da'termo-attinometri cresceranno nella medesima ragione.

3ª. *I raggi calorifici ànno intensità tanto minore quanto è maggiore la loro inclinazione alla superficie raggiante.*

Ciò vuol dire che la intensità è massima se i raggi partono normali alla superficie raggiante, e diviene tanto minore quanto più le sono obbliqui. Per dimostrarlo, collochiamo (fig. 234) da un lato la pila, dall' altro il cubo con acqua calda sul sostegno *a*, e innanzi ad esso il diaframma E. Egli è chiaro che la porzione della superficie del cubo rivolta alla pila, da cui partendo i raggi e traversando il foro E vengono ad incontrarla, sarà minima, allorchè la superficie del cubo e la sezione del diaframma sono entrambi perpendicolari all'asse della pila, e crescerà per gradi facendo girare o il cubo o il diaframma intorno ai loro assi verticali. E ciò non ostante le indicazioni termometriche resteranno invariate.

Forza è dunque conchiudere che di quanto cresce la superficie raggiante, di altrettanto scema la intensità de' raggi, ossia che diminuisce come aumenta la obbliquità di quelli. Siffatta legge va enunciata più rigorosamente così: *la intensità de' raggi termici è proporzionale al seno dell'angolo che fanno con la superficie raggiante.*

4ª. *È varia la intensità del raggiamento calorifico secondo la natura de' corpi che raggiano, e secondo la densità e spessezza dello strato raggiante.*

Potere emissivo. Se più sorgenti ànno la medesima temperatura, pur tutta volta i raggi termici sono di varia intensità secondo la natura di quelle; donde s'inferisce che i diversi corpi non ànno la stessa virtù di raggiare calore, ossia non ànno lo stesso *potere emissivo.* Per determinarlo si usa il cubo con acqua a 100°, del quale si covrono successivamente le facce con sottili lamine o strati di differente natura; e poichè tenendolo alla medesima distanza dalla pila l'ago del galvanometro devia inegualmente, se ne otterranno i poteri emissivi de' varî corpi misurando i gradi di deviazione. A questo modo è stata compilata la seguente tavola, in cui il potere emissivo del nerofumo è espresso con 100.

Nerofumo	100	Ferro fuso levigato	25
Carbonato di piombo	100	Ferro brunito	23
Carta da scrivere	98	Zinco brunito	19
Vetro	90	Acciaio brunito	17
Inchiostro di China	85	Platino in lamina	17
Gommalacca	72	Stagno	14
Argento su vetro	27	Ottone	7

Influenza della densità. La virtù raggiante d'un corpo decresce con l'aumento di densità. Per questa ragione raschiando un metallo battuto o ridotto in lamina se ne aumenta il potere emissivo; poichè si scovrono le parti interne che sono meno dense per aver risentito meno l'effetto della percossa o la pressione dovuta al laminatoio. Ne' metalli fusi succede l'opposto perchè in essi la raschiatura aumenta piuttosto la densità dello strato superficiale; e negli altri corpi in generale, come ne' legni, no' marmi e simili, la scalfitura non modifica per nulla la virtù emissiva contro quello che comunemente si riteneva sulla fede di Leslie.

Influenza della spessezza. I corpi raggiano calore non dalla sola superficie, ma anche da' punti che sono alcun poco sotto di essa. Il dimostrarono Leslie, Rumford e Melloni osservando che resta alterata la virtù raggiante d'un corpo covrendone la superficie con uno strato sottile di altra sostanza. Melloni è giunto pure a determinare la spessezza dello strato raggiante a questo modo. Ei distese sopra una faccia del cubo con acqua calda un velo sottilissimo di vernice, che può ridursi a sottigliezza minima sino a 1/30000 di pollice, e scovrì un aumento di virtù raggiante; poscia un secondo strato, e un terzo: il decimosettimo strato non cagionò più alterazione, ossia in quel caso il raggiamento avveniva come se tutto il corpo

fosse della medesima natura che lo strato sovrapposto: la spessezza ne' 16 strati fu di 4 centesimi di millimetro. In quanto poi ai metalli egli sostituì ad una faccia del cubo una lastra di vetro, e quindi le applicò sopra successivamente foglie esilissime di oro della spessezza di 8, 4, e 2 millesimi di millimetro: trovò sempre identico il calor raggiante, e ne inferì a ragione che l' arte non può ridurre l'oro a spessezza minore dello strato raggiante. Similmente non ebbe alcuna differenza da un primo strato di nero fumo agli strati successivi comunque sottilissimi.

253. **Riflessione dei raggi caloriflci.** I raggi di calore imbattendosi nella superficie d'un corpo, o ne son ripercossi o pure il penetrano. Nel primo caso o tornano in dietro con determinata direzione e si à la *riflessione*, o per ogni verso e si produce la *diffusione*. Nel secondo possono rimanere nel corpo stesso e si à l'*assorbimento*, o finalmente il traversano ossia ne succede la *trasmissione*. Esaminiamo a parte questi interessanti fenomeni.

Leggi della riflessione de' raggi calorifici. Se un raggio di calore cade sovra una lamina metallica ben forbita, e si dispone come conviene la pila termo-elettrica, sarà agevole dimostrare, che esso riflettesi con le due leggi della riflessione de'raggi luminosi:

1ª. *il raggio incidente, il riflesso, e la normale alla superficie riflettente, si trovano in uno stesso piano.*

2ª. *l'angolo d'incidenza è uguale all'angolo di riflessione.*

Dalle quali come necessaria conseguenza si deduce l'andamento de' raggi calorifici riflessi da ogni forma di specchi, e si dimostra come i concavi ànno virtù di concentrarli, i convessi di disperderli; anzi da tutti questi fatti si trae una conferma della propagazione del calore in linea retta quando nulla si oppone al suo passaggio.

Specchi ustori. Gli accademici del Cimento furono i primi ad avvedersi che il calore delle braci accese si riflette e raccogliesi dalla superficie degli specchi concavi. Lambert ottenne altrettanto col calore oscuro. Ma queste esperienze sono antichissime in quanto al potere calorifico che accompagna il raggiamento luminoso del sole; donde il nome di *ustori* agli specchi concavi. Infatti si narra che Archimede abbruciasse con tal mezzo nel porto di Siracusa la flotta romana capitanata da Marcello. Il P. Kircher ottenne effetti calorifici maravigliosi da un sistema di specchi piani inclinati così, che riflettessero all'istesso punto i raggi; e Buffon ne riunì sino a 128 di cotesti specchi piani rivolti in varie direzioni, che rappre-

sentavano come gli elementi di un grande specchio concavo; e raccogliendo i raggi d'un sol cocente bruciò del legno a 18 metri di distanza, e a 13 metri fuse piombo, argento e rame.

Specchi coniugati. Una bella conferma di tutte le leggi della riflessione del calore si à dagli specchi coniugati usati la prima volta da Pictet a Ginevra in compagnia di Saussure. Sono essi dne specchi concavi sferici o parabolici di metallo M, N (fig. 238) tirati a mar-

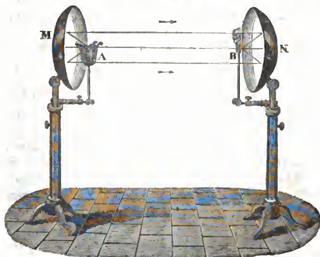


Fig. 238.

tello con superficie levigatissima, sorretti ciascuno dal suo piede, e disposti l'uno contro l'altro così che i loro assi coincidano. Se nel foco principale A del primo M, che dista da esso quanto la metà del suo raggio, si stabilisce una sorgente di calore, e nel foco principale B del secondo N si colloca il bulbo d'un termometro, ottiensi in questo un innalzamento di temperatura, che non si osserva se togliesi lo specchio, e neanco più dappresso al corpo caldo. Se in un de' fuochi v'à de' carboni accesi o una palla di ferro rovente, e nell'altro dell'esca o della polvere da sparo, queste sostanze vi bruciano. L'esca prima di accendersi si annerisce e spande fumo da quel lato che guarda lo specchio nel cui foco è collocata: adunque l'abbruciamento è dovuto ai raggi termici che lo specchio le riflette contro, non ai diretti che le vengono dalla sorgente. Il cammino dei raggi è il seguente. Partendo dal foco principale A dello spec-

chio M ne son riflessi paralleli; anche paralleli cadono sullo specchio N, e da questo riflessi convergono nel suo foco principale B.

Apparente raggiamento frigorifico. Fu pure scoverta degli accademici fiorentini: disponendo uno specchio concavo di rincontro ad una massa di 500 libbre di ghiaccio, videro abbassarsi il termometro sito nel foco. Ma ei si guardarono bene quei sapienti dall'inferirne, come fece poi Rumford, una reale esistenza di raggi frigorifici emessi e riflessi a somiglianza de' calorifici. Collochiamo nel foco d'uno degli specchi coniugati della neve o meglio un miscuglio frigorifico: un termometro nel foco dell'altro specchio scenderà tanto maggiormente quanto più bassa è la temperatura del miscuglio; non perchè questo irradii freddo, ma perchè raggia scarsissimo calore, il quale non compensa quello che il termometro tramanda per irradiazione corrispondentemente alla differenza di temperatura tra il termometro stesso ed il miscuglio. La influenza degli specchi consiste nell'impedire che il raggiamento dei corpi circostanti pervenga al termometro. Da questo fatto tolse Pietro Prevost il fondamento della sua teoria dell'*equilibrio mobile di temperatura* proclamando, che tutt'i corpi raggiano calore: la temperatura rimane stazionaria se quello che un corpo raggia è compensato da' corpi circostanti: se v'è eccesso o difetto la temperatura si abbassa o s'innalza.

Intensità de' raggi riflessi. La quantità di calore che una data superficie riflette vien regolata dalle seguenti leggi:

1ª. *E indipendente dalla varia natura della sorgente termica.*

2ª. *È nella ragione inversa dell'angolo d'incidenza.*

3ª. *È varia secondo la natura e le condizioni della superficie riflettente.*

La prima e la seconda legge sono dovute agli studii di Melloni. Per dimostrarle convien rendere prima uguale il numero de' raggi incidenti comunque partano da sorgenti di varia intensità. Ciò si ottiene facendo cadere i raggi direttamente sulla pila, e portando questa a differente distanza per le varie sorgenti finchè per tutte il galvanometro segni uno stesso grado. Rinvenute così le distanze si scosta la pila, e collocata in sua vece una lamina riflettente, continuerà ad aversi per tutte le sorgenti pari deviazione.

La seconda legge vien dimostrata ugualmente per ogni specie di sorgente termica. E si noti che è precisamente l'opposto di quel che si avvera per la luce; ma à luogo solo per quei corpi, i quali non si lasciano traversare dal calore raggiante

Della terza legge si occupò in prima Leslie, poscia Melloni col suo termo-moltiplicatore. Quegli usò di concentrare con uno specchio concavo i raggi, che venivano da una sorgente costante: quindi li ricevea su i corpi che voleva paragonare ridotti in lamine, i quali li riflettevano sul termometro differenziale: disse 100 il potere riflettente dell'ottone, ed ebbe i risultamenti seguenti:

Ottone	100	Inchiostro di Cina	13
Argento	90	Vetro	10
Stagno	80	. . coverto di cera o olio. .	5
Acciaio	70	. . coverto d'acqua . . .	0
Piombo	70	Nerofumo	0

Adunque i metalli ànno maggiore il potere riflettente. Ma influisce pur la maniera di aggregazione molecolare. Infatti Dulong si avvide, che uno specchio fuso sebbene a superficie ben levigata possedea virtù assai più debole di concentrare i raggi calorifici che non uno specchio metallico battuto al martello, comecchè il primo avesse diametro assai maggiore del secondo.

254. **Diffusione de' raggi calorifici.** Si deve a Melloni la scoverta della diffusione del calore. Se sovra una lamina si fa cadere un fascio di raggi calorifici, oltre quelli che ne sono riflessi specolarmente secondo le leggi esposte, ne rimbalza pure calore tutt'intorno per ogni direzione. Questa specie di riflessione irregolare egli chiamò *diffusione*, alla quale non compete per nulla il nome di riflessione perchè non è soggetta ad alcuna delle leggi che regolano la prima. E vogliamo dire non solamente le due leggi fondamentali della riflessione spettanti alla direzione del raggio riflesso, ma puranco le altre che ne definiscono la quantità. Infatti Melloni à notato che la quantità di calore diffuso è dipendente

1°. *dalla natura del corpo che il riceve, e dallo stato della superficie.* Il nerofumo ad esempio esercita diffusione oltremodo debole; ed i metalli, i quali a superficie levigata riflettono bene, invece a superficie spolita posseggono intensa virtù diffusiva.

2°. *dalla natura medesima della sorgente.* Così i corpi bianchi in generale diffondono in copia i raggi calorifici che vengono da sorgenti di alta temperatura, e scarsamente gli altri.

Non occorre notare che in coteste esperienze di paragone è indispensabile ridurre prima le sorgenti col cambiamento delle distanze a pari intensità. Vedrem tra breve quanto imponente sia il fatto della diffusione nello stabilire la teoria di Melloni sulla composizione del raggiamento calorifico.

255. **Assorbimento de' raggi calorifici.** Il calore che penetra ne' corpi e vi rimane senza traversarli dicesi *assorbito*. Ad esso è dovuto il riscaldamento prodotto da' raggi calorifici.

La quantità di calore che un corpo assorbe dipende

1°. dalla quantità de' raggi calorifici incidenti,

2°. dalla loro inclinazione alla superficie assorbente,

3°. dall'ampiezza di questa superficie,

4°. dalla sua varia natura,

5°. dalla natura della sorgente.

Le prime tre leggi s'intendono da se e riesce pure agevole dimostrarle. Imperocchè sapendosi qual' è la dipendenza della intensità dei raggi dalla distanza, si porta una sorgente a diversa distanza dalla pila, e si trova la deviazione nel galvanometro, e quindi anche l'assorbimento proporzionale alla intensità de' raggi incidenti. Dicasi altrettanto della estensione del corpo assorbente.

Che dalla varia natura de'corpi dipenda in sommo grado il potere assorbente fu dimostrato in prima da Pictet, poscia da Rumford e da Leslie. Se il bulbo del termoscopio si covre successivamente d' uno strato di varie sostanze e si colloca ogni volta nel foco di specchio concavo esposto al raggiamento di determinata sorgente, si osserverà una diversa elevazione di temperatura. Dulong dimostrò che il potere assorbente d'un corpo è proporzionale all' emissivo con la seguente esperienza. Ei rivestì una delle due palle del termoscopio d'uno strato di nerofumo, l'altra di sottile e splendente lamina metallica. Riempì poscia di acqua bollente una terza palla uguale a quelle due, della cui superficie metà era coverta di nerofumo, metà di simile metallo lucente; e la dispose tra quelle ad uguali distanze, ma in modo che la faccia metallica della palla media fosse rivolta a quella del termoscopio coverta di nerofumo, e quindi la faccia annerita guardasse la palla metallica. Così facendo l'indice del termoscopio rimase immobile, quantunque fosse così diversa la virtù emissiva del nerofumo e del metallo. Convien dunque inferirne che quanto è maggiore il calore raggiato dal nerofumo, tanto è scarso quello assorbito dal metallo, e per l'opposto.

Alla stessa conseguenza mena pure un'altra esperienza di Dulong e Petit. Annerirono essi la superficie interna d'un grande globo di vetro, e circondatolo di ghiaccio il tennero a 0°, mentre nel suo mezzo avevano disposto un termometro già prima riscal-

dato a 15°; e misurarono il tempo che questo impiegava per discendere da 10° a 5°. Poscia operarono d'una maniera opposta: immersero cioè il pallone in un bagno a 15°, e ridotto il termometro a 0° ve'l sospesero nel mezzo; misurato il tempo che questo impiegava per salire da 5° a 10, il trovarono identico al primo. Adunque poichè si pareggiano il calore emesso e l'assorbito nello stesso tempo, forza è concluderne che per un medesimo corpo e a pari differenze di temperatura il potere assorbente uguagli l'emissivo.

L'ultima legge è dovuta al genio di Melloni. Ridotto uguale col cangiamento di distanza il raggiamento delle varie sorgenti facciasi cadere su diversi corpi. Il solo nerofumo lo assorbe tutto; gli altri ne assorbono quantità differenti al variar della sorgente. Basta a persuadersene l'elenco che segue, nel quale si rappresenta con 100 la facoltà assorbente del nerofumo.

Sostanze sperimentate	Lampada Locatelli	Lampada Argant	Spirale di platino	Rame a 400°	Acqua a 100°
Nero fumo	100	100	100	100	100
Carbonato di piombo	53	24	89	88	100
Colla di pesce	52	45	84	84	91
Inchiostro di Cina	96	100	87	97	95
Gomma lacca	43	30	70	70	72
Superficie metallica	14	13	13	13	13

Con la lampada di Argant si ànno maggiori anomalie, perchè i raggi non vengono direttamente dalla fiamma, ma son costretti prima attraversare il tubo, di cui quale sia la influenza sarà detto tra breve. In generale può affermarsi che tanto maggiore è l'assorbimento quanto è più bassa la temperatura della sorgente.

256. **Trasmissione de'raggi calorifici.** La esistenza della trasmissione immediata de'raggi di calore è ben dimostrata con le esperienze altrove riferite (250), e confermata da quelle che in tanti modi variò il Melloni. Ci basti qui aggiungerne una sola di Delaroche, che vale per molte. Coverta di nerofumo la faccia di una lamina di vetro rivolta alla sorgente calorifica, e fatti poscia cadere i raggi che l'avean traversata sopra un termometro, egli notò minore innalzamento di quando ambe le facce erano nude; e pure atteso il potere assorbente del nerofumo la deviazione avrebbe dovuto essere maggiore se dal riscaldamento del vetro fosse prodotto il movimento nel termometro, e non dai raggi immediatamente trasmessi per esso.

Melloni chiama *diatermasia* la proprietà de'corpi di lasciarsi traversare da'raggi calorifici: *diatermici* quelli che ne sono provveduti, *adiatermici* quelli che ne mancano.

Potere diatermico. Il modificano le cagioni seguenti:

1.° la diversa natura de'corpi stessi:

2.° la diversa natura della sorgente:

3.° la spessezza delle lamine diatermiche:

4.° la natura delle sostanze traversate antecedentemente.

1.° e 2.° La prima e la seconda legge si dimostrano riducendo le sostanze a lamine della medesima spessezza con le facce parallele, ed esponendole a raggiamenti uguali. Ecco i risultamenti avuti da Melloni, essendo 100 la intensità dei raggi incidenti.

SOSTANZE	Trasmissioni calorifiche			
in lamine ridotte alla spessezza di mill. 2,6	Lampada Locatelli	Platino incandescente	Rame a 400°	Rame a 100°
Salgemma (limpido)	92,3	92,3	92,3	92,3
Solfo di Sicilia (giallo)	74	77	60	54
Spato fluore (limpido)	72	69	42	33
Salgemma (losco)	65	65	65	65
Berillo (giallo verdastro)	54	23	13	0
Spato fluore (verdastro)	46	38	24	20
Spato d'Islanda (limpido)	39	28	6	0
Vetro (limpido)	38	24	6	0
Cristallo di rocca (limpido)	38	28	6	3
Cristallo di rocca (affumato)	37	28	6	3
Bicromato di potassa (arancio)	34	28	15	0
Topazio bianco (limpido)	33	24	4	0
Carbonato di piombo (limpido)	32	23	4	0
Baritina (losca)	24	18	3	0
Ametista (violetta)	21	9	2	0
Alga marina (verde bluastra)	19	13	2	0
Agata (giallo-losca)	19	12	2	0
Tormalina (verde scura)	18	16	3	0
Gomma (giallastra)	18	3	0	0
Selenite (limpida)	14	5	0	0
Acido citrico (limpido)	11	2	0	0
Ambra naturale (gialla)	11	5	0	0
Allume (limpido)	9	2	0	9
Zucchero candito (limpido)	8	1	0	0
Zucchero fuso (giallastro)	7	1	0	0
Ghiaccio (limpido)	6	0,5	0	0

Adunque il salgemma è non solo il corpo più diatermico che si conosca in quanto che si lascia traversare a preferenza degli altri corpi da un maggior numero di raggi incidenti; ma è puranco *diatermico universale*, cioè lo è ugualmente riguardo a qualsivoglia sorgente calorifica; poichè di 100 raggi ne fa sempre passare una quantità costante 92,3. Qualunque altro corpo è permeabile a frazione diversa di raggi incidenti secondo la sorgente. In generale il calore trasmesso è più abbondante se viene da sorgenti di temperatura elevata, più scarso se da sorgenti basse; anzi parecchi corpi diatermici rispetto alle prime sono adiatermici per le seconde. Dalla serie di esperienze riferite si deduce anche una delle più classiche scoverte di Melloni: che *la limpidezza è tutt'altra cosa dalla diatermasia*; in tanto che v' à de' corpi diafani al più alto grado, i quali sono scarsamente diatermici, o pure adiatermici all'intutto. Sono in questo caso la selenite, l'acido citrico, l'allume, il ghiaccio, e quelli in gran numero che non si lasciano affatto traversare dal calore oscuro. E similmente vi sono de'corpi quasi opachi, che permettono il passaggio a copioso calore raggiante, come il salgemma oscuro, il quarzo affumato, il vetro nero.

3.° Per vedere quanta sia la influenza della spessezza della lamina, tra le varie esperienze di Melloni riferiamo quelle eseguite sul vetro di Saint-Gobin, e 'l cristallo di rocca, entrambi limpidissimi: ei ne preparò delle lamine di spessezza crescente, ed ottenne con lampada alla Locatelli i risultamenti che seguono.

	mill.										
Spessezza	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4	5	6	7	8
Vetro	77,5	73,3	70,4	68,2	66,6	65,3	63,4	62,0	60,9	60,0	59,2
Quarzo	78,6	76,8	74,8	73,3	72,5	71,8	70,8	70,2	69,8	69,5	69,3.

Donde chiaro apparisce che il calore trasmesso non decresce nella medesima ragione in cui si aumenta la spessezza: la diminuzione è massima sul principio, poscia per gradi diventa minore, e il calore trasmesso tende ad un limite costante. Solo una lamina di salgemma lascia passare costantemente la stessa quantità di raggi calorifici al variare di sua grossezza tra 2 millimetri e 40: adunque il calore non trasmesso vien riflesso dalle due superficie, non già assorbito.

Che se più lamine della medesima natura fossero sovrapposte, il calore trasmesso decrescerebbe anche più di quel che è dovuto

alla maggiore grossezza del sistema; e ciò è da attribuire alle ripetute riflessioni sulle opposte facce di ciascuna lamina.

4.° Finalmente è grande la differenza tra la diatermasia d'una medesima sostanza in quanto ai raggi che le vengono diretti dalla sorgente calda, e quelli che àn già traversato altra sostanza diatermica. Se esprimesi con 100 la intensità de'raggi incidenti, la diatermasia de'corpi qui sottoposti fu trovata da Melloni corrispondere a'numeri che poniam loro a canto.

Sostanze diaterm.	pel calore	pel calore che à traversato				
	diretto	*salgem.*	*allume*	*bicr. pot.*	*selen.*	*vetro nero*
Salgemma	92,3	92,3	92,3	92,3	92,3	92,3
Fluorina	78	68	90	86	91	91
Berillo	54	53	80	66	91	57
Spato d'Islanda	39	40	91	56	89	55
Vetro (0^{mm},5)	54	54	90	68	85	80
Vetro (8^{mm})	34	33	90	47	82	45
Cristallo di rocca	38	39	91	52	85	54
Bicrom. di potassa	34	33	57	71	53	24
Baritina	24	22	36	25	57	57
Agata bianca	23	23	70	30	78	17
Ambra gialla	21	20	65	20	61	8
Vetro nero opaco (1^{mm},8)	16	16	0	14	18	52
Mica nera opaca (0^{mm},9)	20	20	0	16	12	43
Alga marina	19	18	60	26	57	21
Borato di soda	18	18	23	23	33	24
Tormalina verde	18	17	1	14	10	30
Gomma comune	18	18	61	12	52	4
Selenite	14	14	59	22	54	15
Selenite (12^{mm})	11	10	88	16	52	2
Acido citrico	11	10	88	16	52	2
Tartrato potass. e sod.	11	11	85	15	68	1
Allume	9	9	90	15	47	0

Tranne il salgemma, la diatermasia delle altre sostanze rimane assai modificata. Per tale ragione quella de' liquidi è sempre diversa secondo la materia del serbatoio.

257. **Termocrosi.** È immensa la importanza de'fatti enumerati sin qui, frutto delle laboriose ricerche di Melloni; ma l'averli tutti coordinati ad un solo principio, senza cui resterebbero disgregati e problematici, rivela il genio dell'uomo immortale. Ei dimostrò che *la irradiazione calorifica è composta di raggi elemen-*

tari di specie diversa analoghi a'raggi semplici luminosi, e vien detto a ragione il *Newton del calore raggiante* per la somiglianza delle scoverte, di che la scienza è loro debitrice; ma con tale vantaggio in quanto alla difficoltà del trovato, che la differenza di specie pel fisico inglese fu conseguenza delle svariate impressioni della luce sull'organo, e pel fisico italiano venne dedotta con ragionamento ed esperienze dalle sole indicazioni galvanometriche, val quanto dire da mere variazioni di quantità.

Melloni à dimostrato una perfetta analogia tra i fenomeni calorifici e i luminosi. Passiamoli rapidamente a rassegna. 1.° Una sorgente luminosa è *bianca* se componesi di tutt'i raggi elementari rosso, ranciato, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto; e in quelle determinate proporzioni, in che questi trovansi nella luce solare; nel caso opposto è *colorata*: 2.° i corpi opachi sono *bianchi* se diffondono ugualmente le diverse specie di raggi elementari, *colorati* se le diffondono in differenti proporzioni: 3.° i corpi diafani sono *senza colore* se trasmettono ugualmente le diverse specie di raggi elementari, *colorati* se inegualmente.

Or nell'istessa guisa esiste una colorazione riguardo ai raggi calorifici, che Melloni à detta *termocrosi* (*). Le sorgenti termiche ànno una diversa termocrosi, perchè non tutte emettono le stesse specie di raggi calorifici; e i diversi corpi sono *termocroici*, o colorati per calore, perchè se adiatermici diffondono solo alcune specie di raggi calorifici, e se diatermici ne trasmettono alcune, assorbendo le altre. Il salgemma è *atermocroico* o bianco per calore perchè tutte le trasmette in uguale proporzione.

Stabiliscono questo vero i fatti che seguono:

1.° *La diversa diffusione, trasmissione, e assorbimento al variare della sorgente.* Imperocchè se le sorgenti termiche si distinguessero solo per quantità, quelle ineguaglianze sarebbero inesplicabili, allorchè anche la quantità de'raggi incidenti riducesi uguale con regolare appositamente la distanza. Invece siccome un corpo opaco colorato, ad esempio di rosso, brilla di luce tanto più viva quanto più abbonda il rosso nella luce incidente; ed un corpo verde diafano trasmette tanto meglio la luce incidente quanto più essa contiene di verde, ed entrambi tanto meno assorbiscono di luce nel primo e nel secondo caso; nella stessa guisa, del raggia-

(*) Dalle voci θερμη e χρῶσις colore.

mento termico un corpo adiatermico o diatermico sarà più adatto a diffondere o a trasmettere il raggio del suo proprio colore termico: le altre specie sono assorbite. Il nerofumo, com'è assolutamente nero per tutte le specie di raggi luminosi, è ugualmente nero per calore.

2.° *La trasmissione per lamine di varia spessezza.* Se fosse omogeneo il calore raggiato, la intensità de'raggi trasmessi dovrebbe diminuire nella stessa ragione dell'aumento di spessezza; per converso essendo eterogeneo, sarà trattenuta in maggiore copia quella specie di raggi per la quale la lamina è men diatermica, sino a un certo limite oltre il quale la diatermasia è costante.

3.° *La trasmissione successiva per lamine omogenee o eterogenee.* A quel modo che della luce bianca una piccola porzione traversa un vetro verde, cioè solamente la luce del suo colore, mentre presso che tutta passerebbe la luce incidente se essa fosse assolutamente verde, ossia fosse passata per altra lamina di vetro del tutto verde; così una quantità diversa di calore traversa una data lamina se viene dalla sorgente, o è stata come filtrata attraverso lamina della stessa natura. Poichè in questo secondo caso s' imbatte in essa unicamente quella specie di raggi che possono traversarla. L'allume trasmette della irradiazione diretta appena 0,09 e 0,90 di quella che à traversato altra lamina di allume: similmente il bicromato di potassa trasmette nei due casi le quantità 0,34 e 0,71; la selenite 0,14 e 0,54; e'l vetro nero opaco 0,16 e 0,54.

Di qui è facile persuadersi che siccome di due sostanze colorate diafane si può formare un sistema opaco; per esempio sovrapponendo due vetri, assolutamente rosso l'uno, l'altro verde, ed appressandoli insieme all'occhio non si à impressione di luce; così dei 100 raggi che àn traversato l'allume neppure uno passa pel vetro o per la mica nera, e di due lamine diatermocroiche si è composto un sistema adiatermico. In ambe le circostanze s' imbatte sulla seconda lamina solamente una specie di raggi riguardo a cui essa è adiatermica. Tal fatto si avvera del pari, qualunque sia l'ordine nel quale le lamine si sovrappongono.

258. **Conseguenze ed applicazioni.** La rugiada è dovuta al raffreddamento notturno, conseguenza della irradiazione termica, come vedremo; e 'l covrirsi i corpi di rugiada più o meno abbondante dipende dal vario grado di loro virtù emissiva.

Di due termometri esposti al sole cocente, l'uno all'aria libera,

l'altro sotto campana di vetro, il secondo segna temperatura molto più elevata del primo; perchè la termocrosi del vetro il rende permeabile ai raggi delle sorgenti elevate come quella del sole, e non delle sorgenti basse com'è lo spazio riscaldato sotto la campana. Di quì l'uso di covrire con campana di vetro le piante che mal sopportano il freddo. Inoltre essendo il vetro adiatermico riguardo alle basse temperature, ne consegue, che concentrare con lente di vetro i raggi emanati dall'acqua bollente sarebbe tanto impossibile quanto raccogliere i raggi luminosi con lente metallica o d'altra sostanza opaca.

Per riunire i raggi calorifici vale meglio una lente di salgemma, che non uno specchio metallico a pari condizioni; poichè il salgemma di 100 raggi calorifici ne trasmette 0,93, ed una lamina metallica ne riflette solamente 0,53.

Il salgemma coverto di nerofumo è permeabile ai raggi calorifici non già ai luminosi; per l'opposto l'allume solido o in soluzione trasmette la luce ed assorbe il calore. Laonde ne'microscopî solare e foto-elettrico i raggi si fan passare per l'allume affinchè non danneggino con l'eccessivo calore gli oggetti che debbono fortemente illuminare.

Gli strati atmosferici sono eminentemente diatermici; perciò il calore solare li traversa senza riscaldarli. Le acque poi lo sono scarsamente, per che la superficie de'mari e de'laghi si riscalda, e non il fondo.

Se l'aria è sotto 0°, più presto si scioglie la neve all' ombra d'un albero o d' un corpo tinto di nero che al raggiamento diretto del sole; perchè la neve bianca in quanto alla luce, è pure *leucotermica* o bianca per calore riguardo alle elevate temperature; ma è *melanotermica* (*) o nera per calore riguardo alle sorgenti di bassa temperatura, di cui assorbe i raggi e si riscalda.

Gli abiti neri raggiano ed assorbono più che i bianchi, e questi superano i primi in virtù diffusiva. Laonde converrebbe scegliere ora gli uni ora gli altri secondo le circostanze. Se la temperatura dell'aria è bassa, i bianchi sono più caldi, ossia meno disperdono per raggiamento il calore del nostro corpo. Per l'opposto se la temperatura dell'aria è alta, come di està, al sole i bianchi sono

(*) Da λευκός *bianco* e μέλας *nero*.

più freschi perchè assorbono meno e meglio diffondono, all'ombra sono più freschi i neri perchè raggiano di più.

259. **Rifrazione de'raggi termici.** I raggi di calore si rifrangono in tutto e con le stesse leggi che i raggi di luce. Infatti se nell'apparecchio di Melloni per un foro del diaframma E lasciam venire direttamente sulla pila un fascio di raggi, e notiamo la deviazione dell'ago del galvanometro; poscia lasciando ogni cosa al suo posto riceviamo gli stessi raggi sulla faccia d'un prisma di salgemma frapposto tra il diaframma e la pila con lo spigolo rifrangente verticale; all'istante noi vedremo l'ago galvanometrico ritornare a 0°. Adunque i raggi termici furono deviati dalla direzione rettilinea per effetto del prisma, o altrimenti furono rifratti. Ma se spostiamo la pila orizzontalmente fino ad incontrare i raggi rifratti, avrem novellamente deviazione al galvanometro, e potremo dimostrare di essersi quelli allontanati dallo spigolo rifrangente, e scovriremo pure le altre leggi della rifrazione termica identiche a quelle della luminosa.

I raggi calorifici sono inegualmente rifrangibili; perchè se portiamo la pila termoelettrica ne'diversi elementi luminosi del raggiamento solare separati per mezzo d'un prisma, troveremo che ànno potere termico inegnale, ossia la rifrangibilità de'raggi calorifici elementari è differente come quella degli elementi del raggiamento luminoso.

Il massimo di calore nello spettro solare da Landriani, Rochon e Sennebier, che furono i primi a determinarlo, fu trovato nel sito della massima luce, ossia nel giallo prossimo al ranciato.

Herschel scovrì la esistenza de'raggi calorifici oscuri meno rifratti de'raggi rossi, ed ebbe tra essi il massimo di calore in vicinanza degli stessi raggi rossi. Brard e Malus verificarono la scoverta de'raggi oscuri, ma rinvennero quel massimo nella zona stessa del rosso. Da ultimo Seebech scovrì essere varia la posizione del massimo calore secondo la natura della materia del prisma in tanto, che esso rinviensi nel giallo se il prisma è d'acqua, nell'arancio se di alcole o di acido solforico, se di crown-glass nel rosso estremo, e se di alcune specie di flint-glass oltre il rosso.

Nè poteva così non essere, poichè tutte le sostanze impiegate non si lasciano traversare ugualmente da ogni specie di raggi termici: sono esse tutte diatermocroiche. Donde una novella conferma della scoverta di Melloni. Questi à provato che quanto più la

sostanza del prisma è diatermica, tanto più il massimo di calore si allontana dal giallo e va verso il rosso. Inoltre solamente il prisma *adiatermocroico*, cioè di salgemma, poteva essere adatto a rivelare la distribuzione del calore nello spettro; e quegli ottenne con esso il massimo di calore sito ne'raggi oscuri a distanza dal limite del rosso uguale alla distanza tra esso e il giallo. Progredì anco più innanzi: fè traversare ai raggi emergenti dal prisma di salgemma lamine di varia natura, e trovò quel massimo spostato come segue: con lamina di flint-glass più dappresso al rosso, con un'altra di crown nella stessa zona del rosso, nel giallo con uno strato d'acqua tra due vetri. Egli dunque riprodusse i risultamenti delle ricerche di Seebech, e li coordinò alla termocrosi delle sostanze adoperate.

Melloni pure si avvide che in queste esperienze due altre cagioni potevano produrre uno spostamento nel sito del massimo calore; cioè la diversa ampiezza della superficie del prisma, e la varia estensione della faccia del corpo termoscopico. Di che è agevole persuadersi osservando che lo spettro formato dal fascio di raggi attraversanti il prisma è composto veramente da più spettri, i quali in parte si sovrappongono; e perciò i raggi oscuri che loro si accompagnanu fanno cangiare la intensità termica delle varie zone e diversamente.

Da ultimo perchè a cielo ugualmente serenissimo e nelle stesse condizioni, egli ottenne pure una qualche differenza nella posizione della massima intensità termica, fu condotto a giudicare che non fossero costanti la natura del raggiamento solare, o la termocrosi dell'aria, dipendentemente da circostanze ignote.

SORGENTI DI CALORE

260. Diverse specie di sorgenti di calore. Chiamiamo cagione o sorgente di calore qualunque azione atta ad innalzare la temperatura d'un corpo. Ve n'à di quattro specie, cioè *meccaniche*, *fisiche*, *chimiche e fisiologiche*.

Esaminiamo separatamente la influenza di ciascuna.

261. Cagioni meccaniche. Vanno in questa classe tutte quelle azioni che producono movimento, indipendentemente da altro fenomeno che potesse accompagnarvisi. L'*urto*, la *percossa*, la *flessione*, la *torsione*, lo *spezzamento*, la *confricazione*, svolgono più o meno calore.

Scintilla l'acciarino percosso colla pietra focaia, perchè le particelle di quello staccate si scaldano con la percossa, e si arroventano e bruciano. Un metallo sotto il martello si riscalda, anche il piombo, la cui densità sensibilmente non si altera. Strofinando rapidamente due grandi lamine di ferro l'una contro l'altra si arroventano. Se si fa girare con grande velocità un fuso di legno duro in un foro praticato dentro un disco di legno dolce, entrambi si abbruciano. Arsero financo selve intere per calore sviluppato con lo strofinio di due alberi operato dalla forza del vento. E Davy stropicciando insieme due pezzi di ghiaccio ne ottenne la fusione, essendo l'aria sotto 0°. Una lega di due parti antimonio e 1 ferro essendo limata tramanda vive scintille. Infine sono celebri le esperienze di Pictet e di Rumford sul calore svolto dall'azione del trapano. Quest'ultimo trapanando sott'acqua un masso di bronzo misurò che il calore svoltosi per ottenere col trapano 250 grammi di limatura scalda 25 chilogrammi d'acqua da 0 a 100°.

Tutti i quali fatti, e specialmente l'ultimo, non ricevono spiegazione soddisfacente nella teoria della emissione, non potendo coordinarsi nè al calore di stato, nè al calore specifico, nè al cangiamento di densità; e ragionevolmente spinsero Rumford a riporre la natura del calore in un moto di vibrazione.

262. **Cagioni fisiche.** Svolgono calore le cagioni fisiche seguenti: la *elettricità*, la *mutazione di stato*, il *cangiamento di densità*. Studieremo la prima nel libro VIII, della seconda abbiam già veduto la influenza, trattiamo quì solo della terza.

Che l'aumento di densità nella compressione de'solidi contribuisca a svolgere calore, non è da dubitare. Il dimostrano le esperienze di Biot, Berthollet, e Pictet eseguite sul rame e sull'argento con un torchio dà zecca, i quali percossi si scaldano fortemente sulle prime, e poi sempre meno per gradi. Leggerissimo innalzamento di temperatura succede puranco nella compressione de'liquidi.

Ma negli aeriformi rapidamente compressi lo svolgimento di calore è così intenso da cagionare combustione. Un caso diè origine a questa scoverta: poichè un armaiuolo di S. Stefano a Lione vide accesi degli stracci di lino, che egli aveva fissati all'estremità d'una bacchetta di ferro, e li faceva scorrere celeramente entro una canna di fucile per nettarla. Il fatto divenne tosto volgare, e si riprodusse a piacere nell'arnese detto *acciarino pneumatico*. Il quale consiste in un cilindro di metallo o di cristallo (fig 239) ben cali-

brato, entro cui scorre uno stantuffo di cuoio, che porta inferiormente un pezzetto di esca. Spingendo lo stantuffo con forza contro il fondo, ed estraendolo in un attimo si trova l'esca accesa. Se il cilindro è di cristallo, nell' atto della compressione si vede uno sprazzo di viva luce, che Thénard dimostrò esser dovuta alla combustione delle sostanze grasse di cui si unge lo stantuffo; perchè non accade se non comprimendo aeriformi atti a mantenere la combustione, ad esempio aria, ossigeno e cloro. Per la stessa ragione un miscuglio di due volumi idrogeno e uno ossigeno detonerebbe se fosse compresso nell'acciarino.



Fig. 239.

La macchina pneumatica si presta bene a dimostrare che la condensazione di un aeriforme ne alza la temperatura, e la rarefazione l'abbassa. E in vero sotto una campana i Breguet collocarono il loro termometro a spira (201, 1), e in una esperienza facendo il vuoto videro l' indice scendere da 19° a — 4°, e salire a 50° nel rientrare dell' aria. Il termometro a mercurio è troppo torpido per queste indicazioni: si abbassò solamente di 2° nel primo esperimento, e nel secondo continuava a discendere pel riscaldamento precedente.

Del calore svolto nella condensazione degli aeriformi dovuta all'assorbimento de'corpi porosi abbiam detto altrove (164.2°).

263. Cagioni chimiche. Ogni combinazione chimica svolge calore (101,4). Ad esempio mettete in acqua la calce viva: questa le si combina e si alza così la temperatura da fare non pure bollire l'acqua residua, ma da bruciare anche legno solfo e polvere da sparo. E però in ampio significato ad ogni sintesi potrebbe darsi il nome di combustione. Ma più strettamente si chiama *combustione una combinazione chimica con svolgimento di calore e luce.* Bruciano nell' aria idrogeno e solfo, che sono combustibili semplici, perchè si combinano con l' ossigeno di essa e producono acqua e acido solforoso: bruciano pure olio, cera, sego, che sono combustibili composti, perchè i loro elementi variamente combinandosi

all' ossigeno dell' aria e tra loro danno composti assai svariati. È dunque tutt'altra cosa la *semplice ignizione* o vogliam dire l'*arroventamento* dalla combustione. Nel primo caso il corpo si scalda e dà luce, e può rimanere inalterato: nel secondo si produce un novello corpo composto, di cui il combustibile diviene un elemento.

Quanto più attiva è la combustione, tanto è pur maggiore la intensità del calore e della luce. Per che una corrente aerea anima il fuoco; d'onde l'uso del cannello, del soffietto, de'tubi nelle lampade, de' ventilatori in generale; ed eminentemente più energici ne sono gli effetti nell'ossigeno che nell'aria (*).

Di quì pure il gran potere riscaldante del dardo in che si trasforma una fiamma colpita dal getto vaporoso alcoolico, e le tante forme di lampade fondate su questo principio. In quella di Breuzin di Réchaud (fig. 240) sulla lampada C è sospeso un serbatoio, nel quale si versa alcole per *f* e si chiude: allorchè questo bolle, il vapore sfugge pel cannello piegato BD, e venendo in mezzo alla fiamma verticalmente la piega in alto sul fondo A.



Fig. 240.

Fiamma. Se un corpo è assolutamente fisso brucia senza fiamma: se è gassoso, o il diviene bruciando, o dalla sua combustione ne nasce un prodotto gassoso, brucia con fiamma, la quale *è costituita da fluidi aeriformi incandescenti*; si trovano cioè a tale temperatura da divenire incandescenti, almeno a 600°. Secondo Davy la temperatura della fiamma è più elevata del calore bianco dei corpi solidi; questi collocati nella fiamma diventano bianchi per calore, ed accrescono mirabilmente la intensità e 'l chiarore di quella. Introduciamo nella fiamma pallida dell' idrogeno o dell'ossido di carbonio un corpo atto a divenire incandescente sebbene incombustibile, per esempio de' fili di platino o di amianto; ed essi tosto si arroventano, e la fiamma diviene splendente. Rimane così spiegato perchè alcune fiam-

(*) Pienamente ò trattato l'argomento nelle aggiunzioni a'*Primi elementi di Chimica di Regnault* all'art. XV *Combustione*. Napoli 1854.

me spandono luce debole, ed altre molto intensa: idrogeno e solfo sono nel primo caso perchè bruciando danno vapor d'acqua e acido solforoso, che sono aeriformi. Invece zinco e fosforo bruciano con chiarore abbagliante, perchè ossido di zinco e acido fosforico non volatili restano parzialmente frapposti alla fiamma. Così pure l'idrogeno bicarbonato diffonde luce cotanto vivida perchè rimane nella fiamma un eccesso di carbone assai diviso, che non si volatilizza e diviene incandescente.

Misura del potere calorifico. Parecchi fisici si sono occupati di misurare il calore svolto nelle combinazioni chimiche e sovrattutto nelle combustioni, ossia il potere calorifico de' varî combustibili.

Metodo chimico. Il potere calorifico de'combustibili è proporzionale alla quantità di ossigeno che consumano bruciando, e Berthier la misura dall' ossigeno tolto al *litargirio*, ch'è protossido di piombo. A tale scopo si mescoli il combustibile con circa trenta volte il suo peso di litargirio dopo aver ridotto l' uno e l' altro in polvere fina; e si riscaldi forte il miscuglio in crogiuolo di terra. L'ossido di piombo si fonde e si scompone: cede l'ossigeno al combustibile che si ossida, e si riduce il piombo in fondo al crogiuolo. Riportiamo quì alcuni de'risultamenti ottenuti.

Combustibile	*Unità di piombo ridotto*
Legno	da 12,5 a 14,8
Torba.	da 12,3 a 15,4
Lignite	da 17 a 20,3
Litantrace	da 26,8 a 30,9
Coke	30,0
Carbone	da 30,6 a 31,3

Questa tavola rappresenta la quantità di effetto utile che si ottiene da pesi uguali de'diversi combustibili, e quindi le proporzioni in che vogliono adoperarsi per avere un determinato effetto calorifico; ad esempio per fondere una data quantità di ghiaccio, per isvaporare una certa quantità di acqua, e simili. Si noti che il numero corrispondente al carbonio puro sarebbe 34.

Non sarà più così ove trattisi di operare un grande innalzamento di temperatura. Questa non è semplicemente in ragione diretta della quantità di calore svolto; ma è pure in ragione inversa della durata della combustione. Dipende anche da altre circostanze per modo che non è più arbitraria la scelta del combustibile. In gene-

rale i combustibili più densi producono temperatura più elevata. Il coke pe'lavori metallurgici si preferisce a tutti gli altri.

Metodo del calorimetro. Molti fisici per risolvere il problema di misurare il calore svolto dalle azioni chimiche, e soprattutto dalle combustioni, fecero uso del *calorimetro*. Lavoisier e Laplace adoperarono quello *a ghiaccio* (246), collocando il corpo acceso nella cavità centrale, alla quale facevano pervenire con lentezza il gas comburente per mezzo d'un cannello circondato di ghiaccio: i prodotti della combustione per un serpentino circolano a traverso il ghiaccio che si fonde, e completamente raffreddati escono all'aria esterna. Rumford impiegò quello che porta il suo nome, il quale con alquante modificazioni (fig. 241) venne anche usato da Despretz e da Dulong. In una grande vasca BB' contenente presso a 11 litri di acqua è collocato il serbatoio CD, in cui brucia il combustibile, che se è aeriforme perviene per mezzo del tubo adduttore C. Il gas destinato a sostenere la combustione penetra per uno de' due condotti *ah* o pure *fe'e*; e' l suo eccesso insieme co' prodotti gassosi della combustione traversano tutto il serpentino *ss'bcd*, e sono guidati in un gassometro aspirante. All' orifizio *g* è applicata una lastra di cristallo per osservare nell' interno. I due termometri *t*,*t'*, seguano la temperatura della corrente gassosa uscente e della vasca.

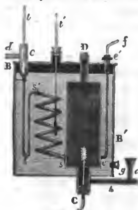


Fig. 241.

Notiamo qui appresso alcuni risultamenti delle ricerche di Dulong, esprimendo in numeri le calorie sviluppate bruciando nell'ossigeno un chilogrammo de' combustibili seguenti:

Idrogeno	34600	Carbon fossile	7600
Idrogeno protocarbonato .	13205	Carbonio puro.	7295
Idrogeno bicarbonato . .	12032	Alcole	6855
Essenza di terebintina . .	10836	Solfo.	2601
Olio di oliva	9862	Ossido di carbonio . . .	2488

Despretz e Dulong ànno osservato che si svolge la medesima quantità di calore nella combinazione di due corpi, sia che questa succeda in una volta, sia che venga prodotta a riprese. Così nel combinarsi l' acido solforico anidro a quelle quantità di acqua,

che il fanno passare a diversi gradi d'idratazione; anzi pure nella combinazione dello stesso acido con la potassa o la soda, sia esso concentrato o diluito, purchè si tenga conto in questo secondo caso del calore svolto nell'atto d'idratarsi. Finalmente Favre e Silbermann mercè un calorimetro di assai più squisita costruzione ànno ottenuto risultamenti presso che in nulla difformi da quelli di Dulong. Ànno pure studiato le combustioni in differenti aeriformi, le soluzioni de' gas e de' sali in acqua, e le combinazioni degli acidi con le basi. Vogliamo aggiungere che rifermarono con le loro sperienze la scoverta di Thénard sul calore svolto nelle analisi chimiche, ossia che versando biossido d'idrogeno sull'ossido d'argento, ambo i corpi si scompongono con ignizione.

264. **Azioni fisiologiche.** Negli esseri organizzati vi à delle azioni speciali atte a sviluppare calore, le quali sono assai tenui nei vegetali, potenti negli animali.

Temperatura de' vegetali. Secondo Dutrochet la temperatura dei vegetali supera di presso a 0°,6 quella dell'atmosfera in cui si trovano; ma comunque sia ben difficile evitare tutte le cagioni perturbatrici, ed in primo luogo quelle di raffreddamento, per ritenere come bene assicurati i risultamenti di queste esperienze, non sembra però potersi dubitare che in alcune circostanze mostrino di fatti temperatura superiore a quella dell' ambiente; come addiviene durante la fioritura delle zucche, e di varie specie di ari, ad esempio dell' *italicum*, e del *cordifolium* nell' isola di Francia. Anzi sembra vero che i fiori del *tropeolum majus* e della *dictamnus frassinella* de'nostri climi nei tempi prossimi alla fecondazione emanino de' bagliori.

Temperatura degli animali. Gli animali in quanto al calore van distinti in due grandi classi: gli uni ànno una temperatura a sè indipendente da quella del mezzo in cui vivono, e generalmente più elevata di esso: tali sono gli uccelli e i mammiferi. Gli altri si compongono ad equilibrio di temperatura coll'ambiente, o ne sono un pochissimo più caldi, come i rettili, i pesci, gli anfibî, i molluschi. Si dicono i primi *a sangue caldo*, i secondi *a sangue freddo*; ma sarebbe più vera la denominazione a quelli di animali *a temperatura costante*, a questi di animali *a temperatura variabile.*

Modo di sperimentare. Una prima serie di esperienze può avere per oggetto il definire la temperatura d'un animale, per esempio dell'uomo e delle sue membra. Giovanni Davy usò un termometro

a mercurio, il cui bulbo veniva tenuto sotto la lingua a bocca chiusa, finchè la temperatura riducevasi stazionaria. Ma comunque ne sia piccolo il serbatoio, esso à sempre una massa considerevole, e però sottrae molto calore, specialmente quando viene introdotto nelle ferite, o quando è destinato a misurare il calore degl'insetti; inoltre non è atto a indicare le variazioni minime. Perciò Becquerel e Brechet impiegarono una coppia termo-elettrica di acciaio e rame: la saldatura vien messa a contatto col punto, di cui si vuole esplorare la temperatura, mentre le altre due unioni sono tenute a temperatura costante: le deviazioni galvanometriche danno la cercata misura.

In secondo luogo si può avere in mira determinare *il calore che un animale svolge in un dato tempo*. Al qual fine Lavoisier e Laplace impiegarono il loro calorimetro presso a poco all' istesso modo che per la combustione. Despretz e Dulong invece collocavano l'animale entro una cassa di rame a pareti sottilissime immersa interamente nell' acqua a temperatura conosciuta. Alla cassa facevano capo due cannelli adduttori, per un de' quali entrava l'aria necessaria a mantenere la respirazione dell'animale, per l'altro ne usciva l'aria alterata. La corrente era costante e con la velocità che piaceva meglio, perchè regolata da un serbatoio aspirante o da un gasometro. Si aveva la misura del calore determinando la temperatura iniziale e la finale dell'aria e dell'acqua.

Fatti osservati. Le precipue conseguenze raccolte dalle varie esperienze eseguite in diversi tempi sono le seguenti.

La più elevata temperatura è degli uccelli. Il gallo e l'anitra sono a 43°,9 : il colombo e il passero a 42°,1. Vengono poi i mammiferi, indi i pesci. I serpenti d'inverno sono più caldi dell'aria, di està più freddi. Le osservazioni di Giovanni Davy eseguite sopra gran numero di animali gli fecero scovrire che le temperature delle varie loro classi si estendono tra i limiti qui sotto segnati:

Uccelli	da	43,9	a	27,2
Mammiferi	da	40,5	a	26,7
Amfibii	da	32,2	a	16,9
Pesci	da	27,8	a	14,4
Molluschi	da	27,8	a	24,6
Crostacei	da	26,1	a	22,2
Insetti	da	25,8	a	5.

La temperatura media del corpo umano è 37°, la quale soffre

alterazioni molto tenui per qualsivoglia cambiamento di età, di clima, di latitudine. Davy trovò la temperatura minima 35°,8 in due ottentotti, e la massima 38,9 in due giovinetti europei.

Il sangue arterioso è più caldo di 1°,01 del sangue venoso.

Nel sonno la temperatura è 0°,8 più bassa che nella veglia.

Delle varie membra la temperatura è diversa: in generale cresce andando dalle estremità periferiche al cuore.

La temperatura di un muscolo si alza con la contrazione o con l'esercizio continuo.

Le maggiori variazioni di temperatura provengono dallo stato patologico: le infiammazioni locali producono un aumento di 2 in 3 gradi: nelle febbri intermittenti la temperatura si alza sino a 42°,21, e nelle continue fino a 42°,72.

Termogenesi, ovvero *origine del calore animale*. Per non entrare nel campo della fisiologia sarem contenti di esporre che un tempo il calore animale si volle prodotto da azioni meccaniche, ossia dall'attrito del sangue fluente, e delle altre parti del corpo in moto. Poscia secondo Lavoisier fu attribuito all'azione chimica dell'ossigeno dell'aria inspirata, del quale la massima parte combinandosi col carbonio del sangue venoso degli organi stessi della respirazione produce acido carbonico, e 'l sangue venoso si trasforma in arterioso, e un residuo coll'idrogeno del sangue stesso e se ne à del vapor d'acqua. Fu calcolata puranco la quantità di calore che queste operazioni poteano svolgere. Nello stato fisiologico in ogni minuto un uomo sano compie 15 in 16 inspirazioni; e se adulto inspira circa mezzo litro di aria per volta: ma non tutta l'aria inspirata si emette espirando: ne rimane sempre ne' polmoni. L'aria inspirata contiene per ogni 100 parti in volume 20,9 di ossigeno, e di acido carbonico una quantità sempre minore di un millesimo: in vece nell'aria espirata da un uomo sano si trovano da 3 1/2 a 5 di acido carbonico, e di ossigeno solamente 15 a 16 1/2. Ragionando su questi dati Despretz e Dulong, e ponendo a calcolo il calore svolto dal carbonio trasformantesi in acido carbonico, e dall'idrogeno che si compone in acqua, ne ebbero che il calore totale prodotto da coteste azioni chimiche è considerevolmente minore del bisognevole; si estende cioè tra 0,75 a 0,91. Questa fu una delle più valide obbiezioni contro la teoria chimica della genesi del calore animale; ma ve ne furono pure delle altre, e volle sostenersi che unicamente dovesse ripetersi da innervazioni incitate per varie ragioni; e special-

mente pel sangue arterioso. Si osservi però che ai tempi delle ricerche di Despretz si riteneva che il calore svolto dalla unità di carbonio bruciando fosse espressa da 23000, mentre in appresso è stato accresciuto fino a 34600. A dì nostri i più distinti chimici sono ritornati all'avviso, che la respirazione è l'unica sorgente del calore animale, ma la misura assegnatagli si ritiene come inesatta dopo le esperienze di Liebig e di Regnault.

Cagione di raffreddamento. Allato di sì valida sorgente di calore la natura ci à provveduti d'un mezzo ordinato ad abbassare la temperatura quando essa per altre cagioni tendesse ad elevarsi con grave danno anzi morte dell'individuo. Franklin notò essere questo la *traspirazione*, il cui processo, e quindi l'effetto che ne deriva, il raffreddamento, si rende più attivo quando è più elevata la temperatura della persona. Laonde nel moto e nella fatica, o in clima molto caldo la traspirazione è più copiosa a segno, che non potendo trasformarsi tutta di presente in vapore, rimane sulla cute a stato liquido. Alla traspirazione è dovuto che, essendo l'aria asciutta, un uomo può reggere a temperatura non pure uguale alla propria o di poco superiore, ma pari a quella dell'acqua bollente. A questa conseguenza menano le esperienze antiche di Banks, Blagden, e Fordyce, e le più recenti di Roger, e Delaroche. Per converso proviamo ambascia quando l'aria è calda e vaporosa, perchè men libera è la traspirazione; e andrebbe soggetto inevitabilmente a morte chi fosse costretto dimorare in atmosfera a 40° satura di vapore.

FINE DEL PRIMO VOLUME.

INDICE

DELLE MATERIE

LIBRO PRIMO

GRAVITÀ

LIBRO SECONDO

ATTRAZIONE MOLECOLARE E STATO SOLIDO

LIBRO TERZO

STATO LIQUIDO

LIBRO QUARTO

STATO AERIFORME

LIBRO QUINTO

ACUSTICA

LIBRO SESTO

CALORE

FINE DELL' INDICE

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA SPERIMENTALE

E DI FISICA TERRESTRE

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA SPERIMENTALE

E

DI FISICA TERRESTRE

DI

G. GIORDANO

Professore e Direttore del Gabinetto di Fisica
Della R. Università, professore nella R. Scuola di Applicazione del Genio Civile,
Socio ordinario del R. Istituto d'Incoraggiamento.

Seconda edizione

VOLUME SECONDO



NAPOLI
STABILIMENTO TIPOGRAFICO DI FEDERICO VITALE
2 e 4 - Largo Regina Coeli.
1862

LIBRO SETTIMO

MAGNETISMO.

FENOMENI GENERALI DELLE CALAMITE.

1. **Calamite naturali ed artificiali.** Esiste in natura un minerale, che à la virtù di attrarre il ferro. Esso componesi di ferro, e ossigeno; è il *ferro ossidulato* de'mineralogisti, ed à per formola chimica $Fe^3 O^4$. Dicesi *calamita naturale* o *magnete*, perchè gli antichi il traevano da una regione di Macedonia o da una città dell'Asia minore, denominate entrambe *Magnesia* ; e chiamasi *magnetismo* la cagione di quella virtù , e degli altri fenomeni delle calamite. Ma oggidì le calamite di qualità migliore ci vengono di Svezia, e di Norvegia, e anche dall' isola d'Elba.

Si dà poi il nome di calamita *artificiale* all'acciaio temperato, o al ferro dolce calamitati ; poichè il primo può acquistare d' una maniera *permanente* tutte le proprietà delle calamite, e 'l secondo prende un magnetismo passaggiero o *temporaneo.*

Una calamita esercita la sua azione sul ferro non pure attraverso l'aria e gli altri aeriformi, ma anche nel vuoto, non che interponendo carta, vetro, acqua, un metallo; e in generale attraverso tutt'i corpi, purchè questi non sieno dotati di virtù magnetiche come il ferro, senza alcuna influenza della facoltà conduttrice o coibente che essi possano avere per l'elettrico.

Il ferro sente l'attrazione della calamita non solo a contatto, ma anche da lungi: quella della Società Reale di Londra attrae a distanza di metri 2,5. Scovriremo in seguito la legge di tale attrazione.

2. **Poli e sezione neutra.** La virtù di attrarre il ferro non è ugualmente distribuita per tutta la lunghezza d'una calamita. La sua massima intensità risiede in due punti, che sono verso gli e-

stremi, e va diminuendo gradatamente andando verso il mezzo, dov' è nulla. Quei due centri di attrazione più potente diconsi *poli* della calamita, e la sezione media chiamasi *neutra*.

Sospendasi infatti una pallina di ferro A (fig. 1) con filo esilissimo, e le si avvicinino sempre ad uguale distanza i diversi punti d' una calamita naturale, o d'una verga calamitata. La deviazione dalla verticale di questa specie di *pendolo magnetico*, e quindi l'azione attrattiva della calamita sarà nulla per la sezione MN normale all'asse di figura PP', e si vedrà crescere presentando alla pallina i punti della barra, che più si accostano agli estremi.

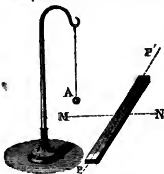


Fig. 1.

Si dimostra pure lo stesso rivoltolando una calamita sia naturale (fig. 2), sia artificiale (fig. 3), nella limatura di ferro, che le si

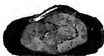

Fig. 2.


Fig. 3.

attaccherà in maggiore copia nella regione de'poli, sempre meno per gradi verso il mezzo, e per nessun modo alla sezione neutra.

Si può anche ad una calamita AB (fig. 4) sovrapporre un foglio sottile di cartone CD asperso di finissima limatura di ferro: con agitare poi leggermente il cartone, o pure col cangiare di sito la calamita, i briccioli di limatura si disporranno in curve, le quali ben ti dimostrano la presenza de'poli, e della sezione neutra.

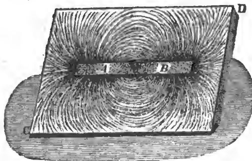


Fig. 4.

Poli secondarii. Talvolta in una medesima calamita naturale, o artificiale vi sono più che due poli: si dice allora che quella è irregolarmente calamitata, e che à de'poli *secondarii* o de'*punti conseguenti*. Ma i poli consecutivi sono sempre separati da una sezione neutra.

Calamite e corpi magnetici. Il vero carattere delle calamite è la *polarità magnetica*. Per essa distinguonsi da quelle sostanze, che solo vengono attratte dalla calamita, e per tutto con uguale intensità, dette *corpi magnetici*. Sono tra queste ultime il ferro in prima, e poi il cobalto, il nickel, il cromo. Dimostreremo però che le calamite, comunque variamente, agiscono su tutt'i corpi.

3. **Direzione delle calamite.** Rendasi una calamita mobile orizzontalmente intorno a un asse verticale; ad esempio galleggi sull'acqua mediante sughero la calamita A (fig. 5) così, che

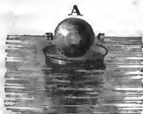


Fig. 5.

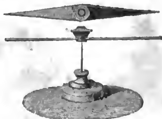


Fig. 6.

i suoi poli B,C restino a'lati opposti; e si vedrà che l'un d'essi si dirige verso il polo Nord della terra, l'altro verso il Sud.

Riesce meglio a tale uso l'ago calamitato, o sospeso ad un filo, o bilicato sur una punta pel suo mezzo (fig. 6), dove porta un cappelletto di pietra dura per rendere minimo l'attrito; esso rivolge costantemente un polo verso il Nord, un altro verso il Sud.

È questo un secondo carattere de'poli, pel quale la calamita acquista una posizione fissa rispetto alla terra. Ma perchè sempre lo stesso polo della calamita si volge allo stesso polo della terra, e, se s'invertono con una mezza rotazione, riprende la primitiva posizione di equilibrio, convien dire che i due poli della calamita son diversi tra loro. Chiamasi *polo Nord* o *boreale* quello che guarda il Nord, e *polo Sud* o *australe* quello che rivolgesi al Sud. Per distinguere agevolmente l'uno dall'altro si suole tingere di violetto il polo Nord riscaldando quell'estremo dell'ago.

4. **Azione tra i poli delle calamite.** Fra i poli delle ca-

lamite regna la seguente legge: che *i poli del medesimo nome si ripellono, e quelli di nome contrario si attraggono.*

Infatti sospendendo più aghi, come abbiam detto (3), a certa distanza l' uno dall' altro, per l' azione della terra tutti si dispongono paralleli tra loro: saranno dunqne dell' istesso nome, e tutti poli boreali, quelli che guardano il Nord: tutti poli australi qnelli rivolti al Sud. Or se il polo australe A (fig. 7) si avvicina al polo australe *a* d' un altro ago sospeso, si osserverà tosto una ripulsione, e invece un'attrazione se si appressa al polo boreale *b*.

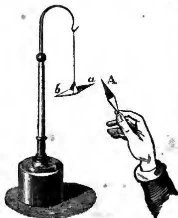


Fig. 7.

Da ciò consegue che non sarà calamitata una verga, di cni ambogli estremi attraggono nno stesso polo; o la sola ripulsione o l'attrazione insieme e la ripulsione sono indizio della *polarità*.

5. **La polarità magnetica è dovuta a una forza molecolare.** Si spezzi una calamita in due precisamente là dov' è la sezione neutra: ogni parte si addimostrerà una vera calamita co'due poli agli estremi, e con la sezione neutra; e, comnnque si protragga questa divisione e snddivisione, ogni bricciolo presenterà i fenomeni di una intera calamita. Un tal fatto dimostra che la inerzia della sezione neutra è dovuta ad equilibrio magnetico, e che la polarità è una forza molecolare.

Come possa appartenere il magnetismo alle singole molecole e manifestarsi o nascondersi nelle diverse parti d' nna calamita, il dichiara bene la seguente esperienza. Riempiasi di limatura di ferro o di acciaio un cannello di vetro o di cartone, e si magnetizzi: esso presenterà, com' è naturale, la polarità magnetica; ma se vuotatolo, e poscia rimescolata alquanto la limatura, se ne riempie di nnovo, ogni segno di polarità sarà sparito.

Vedremo che le azioni atte a modificare la costituzione molecolare ànno pure influenza su i fenomeni magnetici.

MAGNETISMO TERRESTRE.

6. **Meridiano magnetico, declinazione magnetica.** Abbiam detto (3) che i due poli d' una calamita si dirigono verso il Nord e verso il Sud della terra; poichè quelli in vero non guardano esattamente e costantemente i due poli terrestri.

Dicesi *meridiano magnetico* il piano, che passa pel centro della terra e per l'asse della calamita in un dato luogo; a differenza del *meridiano terrestre*, che è il piano, il quale passa per lo stesso luogo e per l' asse della terra. Chiamasi *declinazione magnetica* l'angolo che contengono i due meridiani, o le due tracce che essi lasciano sulla superficie terrestre; ed è *orientale o occidentale* secondo che il polo dell'ago che guarda il Nord della terra si volge verso oriente o verso occidente. È misura della declinazione l'angolo che forma l'asse dell'ago con la linea meridiana.

7. **Bussole di declinazione.** Sono gl'istrumenti destinati ad osservare e a misurare la declinazione; e possono anche valere a tracciare la meridiana, quando la declinazione sia nota. Ne indicheremo in prima due che sono le principali.

1.° La più comune (fig. 8) componesi d' una scattola di rame AB avente all'orlo un cerchio graduato M sostenuta da un piede P con viti calanti s, s. Sovra una punta impiantata al suo centro è bilicato l' ago magnetico *ab*. Alla scattola è congiunto un cannocchiale astronomico L mobile con moto di rotazione in un piano verticale intorno all' asse orizzontale X, il quale può volgersi insieme con la scattola attorno l'asse verticale che passa pel centro dell'ago. La rotazione intorno l' asse verticale vien misurata per mezzo del cerchio graduato immobile QR, che dicesi *azimutale*, e del nonio V; il moto poi intorno l'asse orizzontale X vien misurato per mezzo del nonio K girevole insiem con quello lungo l'arco *x* graduato ed immobile.

L' osservazione si conduce nel seguente modo. Supponiamo in prima che si conosca il meridiano terrestre del luogo. Allora disposta la bussola orizzontalmente coll'indizio del livello *n*, si gira il cannocchiale finchè il suo asse sia nel piano del meridiano terrestre. Ciò fatto, si legge il numero de'gradi di deviazione che fa l'ago dal diametro N, il quale si trova nel piano verticale del cannocchiale, e corrisponde allo zero della graduazione: questi gradi sono la misura della declinazione cercata.

Quest' istrumento presenta altresì il vantaggio di determinar con esso lo stesso meridiano terrestre, quando già non fosse noto. A tale uopo s'impiega il cerchio azimutale QR e l' arco gra-



Fig. 8.

duato x. Si osserva cioè col cannocchiale L un astro qualunque ad uguale altezza prima e dopo il passaggio al meridiano, e poscia si divide a metà la distanza azimutale delle due posizioni.

Metodo del rovesciamento. Si noti che se, come per l'ordinario accade, l'asse di figura dell' ago non coincide a capello col suo asse magnetico, ossia con la retta che ne congiunge i poli, nelle descritte esperienze si commette un errore notevole; poichè veramente l'asse di figura resterebbe da un lato del meridiano magnetico. Per correggerlo si *rovescia* l' ago per modo, che sia rivolta in su la faccia la quale prima guardava in basso; e poi si fa una seconda osservazione. Con ciò l' ago si sposterà dal lato opposto di prima; e per essere uguali le due deviazioni, dividendo a metà l'arco che ad esse corrisponde si avrà la declinazione vera.

2.° Più spedito e più esatto risultamento si à dalla bussola rappresentata dalla fig. 9. L'ago calamitato D à forma di tubo cilin-

drico vuoto, e scorre in un anello per potersi agevolmente rovesciare. È sospeso con fili di seta senza torsione *a* entro un cannello di vetro C. Ad un estremo dell'ago v' è una lastra di vetro, su cui sono segnati due finissimi tratti in croce: e nel centro una lente avente per distanza focale metà della lunghezza di quello. Con ciò i raggi che partono dal punto d'intersezione de'tratti escono paralleli dalla lente, e 'l loro asse coincide con quello dell'ago.

Protegge l' ago dall'agitazione dell' aria un tubo metallico AB abbastanza largo, formato di tre pezzi. Quelli che sono ai due estremi sono mobili per rovesciare comodamente l'ago; uno d'essi è espresso a parte in N: è munito di lastra e d'uno specchio per illuminare i tratti. Tal tubo AB è fisso da un lato di un' alinda o

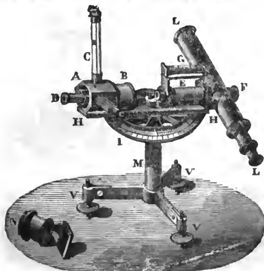


Fig. 9.

alidada HH mobile con moto di rotazione orizzontalmente sul cerchio azimutale I, il quale sorretto dal piede M può livellarsi per mezzo delle viti calanti V, e del livello G. Finalmente dall'altro lato dell'alidada vi è un microscopio EF, il cui asse passa per l'asse verticale di rotazione, e perciò coincide con quello del tubo AB; ed inoltre un cannocchiale LL, che rota in un piano verticale perpendicolare all'asse EF.

Per fare uso dell'istrumento si noti, che quando l' imagine del punto di mira si forma sullo zero del micrometro, allora l' asse

della calamita coincide con l'asse del microscopio. Quando ciò si avvera leggasi la indicazione del nonio. Si faccia poscia girare l'alidada sul cerchio azimutale sino ad osservare col cannocchiale LL la posizione d'un astro conosciuto. Sia r la rotazione a ciò necessaria; $90 \pm r$ sarà la distanza angolare tra il verticale dell'astro, e quello che passa per l'asse di figura dell'ago.

8. **Magnetometro di Gauss.** Gian Federico Gauss astronomo di Gottinga verso il 1827 à proposto un più delicato metodo di studiare il magnetismo terrestre ricevuto generalmente in Germania e in Inghilterra. Fa d'uopo accennarlo. Il suo strumento à nome di *Magnetometro*, e vien rappresentato in complesso dalla fig. 10. Sul pavimento di una sala avente presso a dieci me-

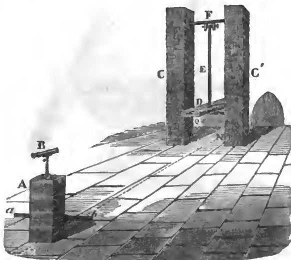


Fig. 10.

tri di lunghezza da Nord a Sud si segni per approssimazione la linea del meridiano magnetico MN. Da un lato è sospesa una grossa barra calamitata D lunga un metro con fascio E di fili di seta senza torsione ad una traversa F solidalmente sostenuta da due colonne C,C'. A quell'estremo Q della barra, che guarda l'interno della sala, è fisso uno specchio piano perpendicolare al suo asse. La fig. 11 dimostra a parte la verga magnetica *edde*, sospesa per mezzo della staffa *cbbc* e del cappelletto *aa'*. Si vede in *nn* lo specchio piano; *m*, *h*, *h*, *k* sono le correzioni necessarie per tenerlo ver-

ticale, ed *f*, *p*, *f* quelle richieste per serbare la verga orizzontale.

Dall'altro lato della sala è collocato un teodolite, il cui cannocchiale è mobile nel piano del meridiano MN e dei fili E. Sulla faccia della base A rivolta alla calamita è fissa orizzontalmente la sca-

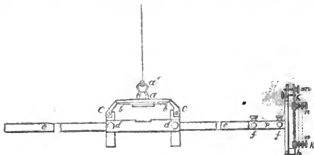


Fig. 11.

la *ab*, i cui numeri sono rovesciati, e lo zero si trova nel piano verticale che passa per l'asse del cannocchiale.

Ciò posto, se le condizioni indicate sono sodisfatte, si potrà sempre regolare la inclinazione dell'asse del cannocchiale e l'altezza della barra magnetica così, che lo zero della scala risponda all'incrociamento de'fili. Il che si ottiene elevando il centro dello specchio sul suolo ad un'altezza, che sia media aritmetica tra quelle della scala e dell'oggettivo, e mirando a quel centro. Ma se la perpendicolare allo specchio è inclinata sul piano, che descrive il cannocchiale, un altro numero della scala farà la sua immagine sul centro de'fili: dal quale numero s'inferisce la posizione dello specchio, e quindi della barra magnetica riguardo ad NM. Si capovolge poi al solito la barra per fare una seconda osservazione.

Dopo ciò fa d'uopo solamente ben fissare la direzione del teodolite riguardo al meridiano terrestre; ma dopo averlo una volta orientato, si segna o nella sala o di fuori una linea di riscontro verticale, alla quale in principio di ogni osservazione si riferisce il cannocchiale per assicurarsi che il suo asse non siasi spostato.

Si osservi che la barra magnetica mai non si arresta in perfetto equilibrio; ma si stima la sua posizione finale dividendo a metà l'arco che corrisponde ai punti estremi delle sue oscillazioni.

9. **Bussola marina.** La *bussola de' marini*, detta pure *compasso di variazione*, è una bussola di declinazione, di cui si fa uso

in mare per regolare la rotta del bastimento. La fig. 12 ne mostra il rilievo, la fig. 13 ne dà la sezione verticale (*).

L' ago *ab* è fisso alla faccia inferiore d' una lastra sottile di mica o di talco, sulla quale è segnata una *stella* o la *rosa* a 32 raggi, indicanti gli otto rombi de' venti, i mezzi rombi ed i quarti ; ed è bilicato sopra una punta impiantata nel centro del fondo *n* di una scattola cilindrica di rame OO. Perchè quello si tenga sempre orizzontale, non ostante il tancheggio e il tempellamento della na-

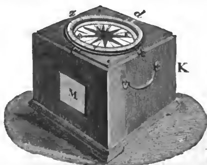


Fig. 12.

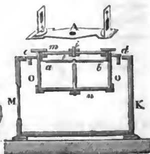


Fig. 13.

ve, la scattola è sospesa a quel modo che dicesi di *Cardano*: ossia per mezzo di due anelli concentrici e mobili intorno ai due assi *cd*, *xz* perpendicolari tra loro. Il tutto è racchiuso nella cassetta K con apertura M chiusa da lastra di vetro spolito , per la quale penetra la luce di una lampada , che l'è daccanto la notte, e traversando il fondo *n* anche di vetro va ad illuminare l'ago.

Da ultimo la bussola è chiusa di sopra con altra lastra *m* avente

(*) A Flavio Gioia di Amalfi si attribuisce la gloria di avere inventato la bussola nautica nel 1302. Noi non possiamo già ritenere ch'egli avesse scoverta la virtù della calamita di dirigersi ai poli, nè che il primo avesse insegnato a usarne in mare. Imperocchè buone ragioni persuadono averla impiegata i Cinesi niente-meno che sotto la dinastia di Tsin, cioè 419 anni prima della nostra Era. Dippiù si ritiene che il primo navigatore europeo a giovarsene sia stato Vasco da Gama. Pur tuttavolta non sembra potersi negare che il Gioia ne sia stato come un secondo inventore , e che a lui assolutamente si debbano la forma e le perfezioni dell'istrumento. Graficamente pure lo dimostra il trovarsi su tutte le bussole verso il Nord disegnato un giglio che fa parte dello stemma degli Angioini , i quali al tempo di Gioia reggevano il reame di Napoli.

al centro un pernio *i*, al quale si aggiusta l'alidada A con due traguardi agli estremi: un d'essi à una fenditura abbastanza larga divisa in due da un filo a piombo: nell'altro è scolpita una delicatissima luce parallela al filo a piombo. Servono questi a dirigere una linea di mira ad un astro conosciuto, o pure alle coste quando si naviga presso terra.

La bussola è sul ponte verso poppa. Se ne trae vantaggio col girare il timone così, che il rombo della rosa, secondo il quale deve regolarsi la rotta, coincida con la linea di mira *ed* segnata sulla scattola esterna immobile e diretta secondo l'asse della nave.

Compensatore di Barlow. Le declinazioni osservate in mare son perturbate dalle masse di ferro esistenti nella nave. Ma quel che più monta si è, che ben difficile riesce eseguire le correzioni necessarie: poichè quelle masse diventano calamite temporaneamente sotto la influenza del globo, e la posizione de' poli si cangia perennemente con la direzione del bastimento. Wales astronomo della spedizione di Cook fu il primo ad avvedersene.

Ora Barlow professore di Woolwich è giunto a scoprire con esperienze un principio dimostrato poscia col calcolo da Poisson, in forza del quale si fa sparire la cagione dell'errore. Va enunciato a questo modo. « Sia qualunque la distribuzione del ferro in « una nave, si potrà collocare dappresso alla bussola un pezzo « di ferro tale di peso e in conveniente posizione, che la sua « azione sull'ago pareggi sempre e in qualsivoglia condizione ogni « azione perturbatrice ».

Il *compensatore di Barlow* consiste appunto in questo ferro aggiunto, al quale ei dà forma d'una rotella traversata da un asse, che s' introduce in uno de'tanti fori praticati a bello studio nelle pareti laterali della bussola. Determinata la scelta del compensatore, facendo due osservazioni, l'una dopo averlo collocato al suo posto, l'altra dopo averlo allontanato, la differenza delle misure prese nelle due posizioni dell'ago sarà precisamente la cercata perturbazione; e questa bisognerà aggiungere alla declinazione apparente o sottrarnela secondo che la presenza del compensatore avrà diminuita o aumentata la deviazione dell'ago dal meridiano.

Si regola poi il compensatore con due serie di osservazioni: la prima sulla nave facendola girare in tutt'i sensi, la seconda a terra tenendo lontana qualunque cagione di perturbamento.

10. **Variazioni della declinazione.** La declinazione à

un valore differente da un sito della terra a un altro, come pure in uno stesso luogo e in tempi diversi (*). Le più antiche osservazioni datano dal 1580. Allora a Parigi l' ago deviava di 11°, 15° verso l' Est: dal 1580 la deviazione diminuì sempre sino al 1662, poi l'ago cominciò a declinare verso occidente: nel 1814 la declinazione occidentale giunse al massimo di 22°, 34; poscia à diminuito: nel 1854 era di 19°, 57′, 45″.

Variazioni analoghe sono state osservate dovunque.

In Napoli la declinazione da me osservata il 1 maggio 1859 con un eccellente declinatore di Brander e Hoschel di Angsburg è stata 13°, 15′ow.; la quale paragonata con quella che rilevasi dalle osservazioni del chiarissimo astronomo Ernesto Capocci il 1° Novembre 1840, che fu 15°, 52′, 18″, presenterebbe in tale intervallo di tempo una differenza in meno di 2°, 37′, 18″.

Le linee di uguale declinazione si chiamano in generale *meridiani magnetici.*

Dicesi *linea senza declinazione* quella serie di punti, la cui declinazione è nulla. Una di tali linee, che passava per Parigi e per Londra nel 1662, si è andata spostando da quell'epoca verso occidente, senza però rimanere simile a se medesima. Parte ora dall'isola Melville, passa sotto New-York, traversa la punta più orientale dell'America del Sud e taglia il 60° di lat. austr. a circa 17° ow. dal meridiano di Parigi. Ve n' è pure una seconda assai più irregolare: scende per le coste di Cina, si protrae nell'India sin presso a Bombay, e poi ritorna per l'oceano Indiano sino alla Nuova Olanda. Infine all'E dello Spitzberg esiste pure un pezzo di linea senza declinazione, ma non esplorata che sino ad Arkangel.

Oltre la grande oscillazione secolare, vi sono delle variazioni continue, delle quali alcune periodiche, altre accidentali.

Le periodiche sono annue o diurne, e queste seconde meglio conosciute. L' ago sembra seguire ogni giorno il sole dal mattino

(*) Il primo ad avvedersi che l'ago non si dirige veramente al Nord geografico, ma se ne sposta secondo i luoghi, fu l'immortale Colombo, il quale nel suo primo viaggio a dì 17 Settembre 1492 scovrì, che gli aghi delle bussole *maestraleggiavano di un gran quarto.* È però ben singolare che tale vanto siasi dato a Sebastiano Cabot, che non viaggiò prima del 1497, e solamente nel 1549 pubblicò quella osservazione.

Il cangiamento poi di declinazione nel medesimo luogo fu scoverto nel 1622 da Gunter professore del Collegio di Gresham.

sino a circa due ore dópo mezzodì, poscia ritorna verso l' Est. A Parigi l'ampiezza della variazione diurna è di 13′ a 15′ in primavera ed està, di 8′ a 10′ in autunno ed inverno.

Da ultimo indipendentemente da questi movimenti regolari, ve ne sono degli altri accidentali, delle vere *perturbazioni*, dovute a diverse cagioni. Le principali sono i tremuoti, le eruzioni vulcaniche, e sovrattutto le aurore polari, la cui apparizione è annunziata dallo spostamento rapido dell'ago di declinazione, anche in siti lontani dalla regione in cui è visibile la meteora.

Bussola delle variazioni. Per osservare e misurare i piccoli cangiamenti di declinazione si usa comunemente la ***bussola delle variazioni*** immaginata da Gambey. Le figure 14 e 15 ne mostra-

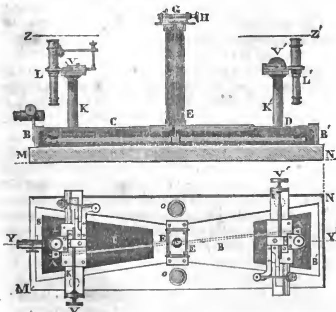


Fig. 14. Fig. 15.

no il rilievo e la proiezione. La barra magnetica AA′ lunga circa 0^m, 60 è sospesa con fascio di fili di bozzolo I al cilindretto girevole GH: il tubo EE preserva i fili, la cassa BB′CMN difende la barra dall'agitazione dell'aria. Ai due lati della cassa su i sostegni K, K′ son disposti i microscopii L, L′, i quali guardano le divisioni angolari finissime del valore di una ventina di minuti scol-

pite su laminette di avorio agli estremi della barra magnetica.

Fa d'uopo inprima orientare cotesta bussola per approssimazione secondo il meridiano magnetico ZZ'YY'; e per mezzo delle viti micrometriche V, V' si fan coincidere i fili oculari de'microscopii con la linea di stima dell'ago segnata sulle piastrine di avorio A, A'.

Per osservare poi le variazioni diurne o annue dell'ago, si può seguire un doppio metodo: o si contano i numeri delle divisioni delle piastrine, che passano per l'incrociamento de'fili de'microscopii: o si fanno muovere i microscopii stessi per mezzo delle viti micrometriche seguendo la linea di stima, e' l loro spostamento darà con estrema squisitezza la voluta misura.

11. Inclinazione magnetica. In tutte le bussole di declinazione l'ago è sospeso pel suo centro di gravità. Ma dobbiam notare che questo centro vien determinato dopo avere magnetizzato l'ago. Avvegnacchè se un ago non calamitato venga sospeso orizzontalmente pel suo centro di gravità, e poscia si calamiti, esso più non conserva la posizione orizzontale : ma dopo avere girato sino a collocarsi nel meridiano magnetico, si abbassa poi con un suo estremo: nel nostro emisfero si deprime il polo Nord, come se quella metà fosse divenuta più pesante dell'altra: e pure il peso dell'ago non è affatto cangiato in alcuna sua parte (*).

Dicesi *inclinazione magnetica o angolo d'inclinazione* l'angolo, che forma coll'orizzonte l'asse polare d'un ago calamitato mobile intorno al suo centro di gravità nel piano del meridiano magnetico.

Bussola d'inclinazione. Si misura la inclinazione magnetica con la bussola espressa nella fig. 16ª. Componesi d'un cerchio graduato M, il quale rimanendo costantemente verticale deve potersi collocare in tutti gli azimut possibili. A tale scopo esso vien fissato nel telaio *dr*, che per mezzo di due colonne è congiunto ad angolo retto con la verga A: tutto il sistema gira intorno all'asse verticale, che passa pel centro del cerchio azimutale *mn*, il quale per mezzo di viti calanti e d'un livello si tiene sempre orizzontale.

L'ago *ab* traversato da un asse di acciaio è girevole con la più grande facilità tra due cuscinetti di pietra dura, su'quali non poggia che durante la osservazione, e poi si solleva per mezzo di una

(*) Così appunto Roberto Norman fabbricante di strumenti a Londra scovrì nel 1576 la inclinazione magnetica; poichè più volte di seguito rifece il suo lavoro di equilibrare l'ago intorno al punto di sospensione, attribuendo a squilibrio di gravità la costante pendenza del polo N verso terra.

leva a gomito. Da ultimo una cassa di lastre il preserva dall'agitazione dell'aria.

Or la prima operazione necessaria per misurar la inclinazione si è di trovare il meridiano magnetico. A tal fine si gira la verga A; e si vedrà cangiare la inclinazione dell'ago sino a ridursi verticale. Allora il piano M è perpendicolare al meridiano magnetico.

Imperocchè potendo scomporsi l'azione magnetica della terra in due forze, l'una verticale l'altra orizzontale, la orizzontale] è senza effetto quando il piano dell'ago è perpendicolare al meridiano magnetico, poichè agisce secondo il prolungamento dell' asse di sospensione; e la verticale renderà tale anche l'ago.

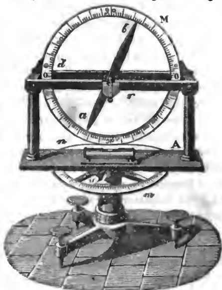


Fig. 16.

Allora dunque non rimane che far girare di 90° la verga A sul cerchio azimutale, con che il piano M cadrà nel meridiano magnetico: poscia abbassando la leva a gomito si fa oscillare liberamente l'ago: l'angolo *dca*, che in quel piano esso forma col diametro orizzontale, darà la inclinazione richiesta.

Una sola osservazione però non basta ad avere un risultamento esatto, essendovi due cagioni di errore. La prima è il non combaciare l' asse magnetico dell' ago coll' asse di figura: la seconda è riposta in un difetto di sospensione, in quanto che il centro di gravità dell' ago non coincide col centro di sospensione. Quel primo errore si corregge col metodo del *rovesciamento*, come abbiam detto relativamente alla declinazione. In quanto al secondo si osservi, che, se il centro di gravità dell' ago è al disopra del punto di sospensione *c*, l'azione della gravità tenderà a fare abbassare lo estremo *b* dell'ago, e l'angolo d'inclinazione apparente avrà un valore minore del vero: sarà poi maggiore del vero nel caso contra-

rio. Si corregge tale secondo errore magnetizzando l'ago in senso opposto al precedente, con che i poli s'invertono; si fa poi una seconda serie di osservazioni, e si prende il valore medio.

12. Variazioni della inclinazione; equatore e poli magnetici. La inclinazione varia come la declinazione così da un luogo ad un altro, come nell'istesso luogo in diversi tempi.

Infatti procedendo dalle nostre latitudini verso i poli la inclinazione va crescendo, e per converso a minore latitudine la inclinazione diminuisce per gradi sino a divenire nulla nella regione dell'equatore terrestre; oltrepassato questo punto l' ago s'inclina di nuovo nell' emisfero australe, ma in senso inverso che nel boreale, cioè col polo sud verso terra. A partire da quel punto, in cui la inclinazione è nulla, si può compiere il giro della terra da oriente ad occidente scorrendo per una serie di luoghi, in cui l'ago resta parallelo a se stesso; la curva irregolare, che così si descrive, è *l'equatore magnetico*. Secondo Duperrey l'equatore magnetico taglia l' equatore terrestre in due punti quasi diametralmente opposti, l'uno nell'oceano atlantico, l' altro nel grande oceano; i quali due punti sembrano inoltre animati da un moto di traslazione da oriente verso occidente: esso può considerarsi come un cerchio massimo inclinato di presso 13° all'equatore terrestre.

Ne'*poli magnetici* la inclinazione è massima, cioè di 90°. Il medesimo Duperrey à scoverto avervene due di cotesti poli, l'uno al Nord dell'America, l'altro al sud della nuova Olanda; sono

il primo a 70° 10′ N e 100° 40′ O,
il secondo a 75° 0′ S e 136° 0′ E.

In quanto alle variazioni in un medesimo luogo sono esse di due specie: le une secolari, le altre a corto periodo. A Parigi nel 1671 la inclinazione era di 75°; da quell' epoca è andata sempre diminuendo, ed al presente non è che 66°, 25′.

In Napoli la inclinazione da me osservata il 1 Maggio 1859 è stata 58°, 15′, la quale con mirabile accordo si trova perfettamente la stessa che quella osservata da Capocci il 1 Novembre 1840.

Le variazioni a corto periodo sono annue o diurne. Secondo Hansteen la inclinazione è più forte in està che in inverno, più innanzi il mezzo giorno che la sera; l' ampiezza della variazione annua sarebbe circa 15′, e quella della variazione diurna 4′, o 5′.

13. L' azione della terra è puramente direttrice. Le verità dimostrate servono a persuaderci della maniera come

dobbiamo rappresentarci la terra in quanto alla sua azione sulle calamite. Agisce cioè come se fosse essa medesima una immensa calamita, la quale avesse i poli magnetici collocati nelle profondità del globo, l'uno nell'emisfero boreale, l'altro nell'australe.

Rende sensibile tale teoria la seguente esperienza. Si disponga orizzontalmente una grossa barra fortemente calamitata AB (fig. 17), e sovr' essa si faccia scorrere un piccolo ago *ab* calamitato e mobilissimo. Si vedrà che sempre l'ago rivolge alla barra il polo di nome contrario ; ma quando l' ago *ab* risponde alla linea neutra della barra , gli assi di ambedue sono paralleli ; diventano poi inclinati, e sempre più avvicinandosi l'ago ad uno degli estremi di quella. Non occorre aggiungere altro per chiarire la somiglianza di effetto. Adunque veramente il polo dell'ago che guarda il Nord sarebbe un polo australe, e quello che si volge al sud un polo boreale. Ma noi co'fisici italiani abbiamo preferito la denominazione opposta, tra per evitare confusione, e per poggiarla *non sopra una ipotesi ma sopra un fatto*, come saggiamente disse il de la Rive.



Fig. 17.

Or questa azione della terra sull'ago è puramente *direttrice*, val quanto dire è incapace d' imprimergli moto di traslazione. Infatti un ago galleggiante sull' acqua per mezzo d'un sughero si orienta nel meridiano magnetico senza scorrere sul liquido, come se fosse bilicato sovra una punta. Dippiù il filo, a cui un ago di forma regolare è sospeso pel suo centro di gravità , mai non devia dalla verticale. E se l'ago con contropeso di platino uniformemente distribuito per tutta la lunghezza si equilibri nel mercurio senza che risenta influenza dalla gravità, si disporrà nel meridiano magnetico come un ago d'inclinazione. Tale disposizione è dunque naturale all'ago, e indipendente dal modo di sospensione.

Sia M (fig. 18) una verga magnetica liberamente sospesa. Il polo boreale della terra attrae il polo nord della verga secondo NC, e ne respinge il polo sud secondo SC': e similmente il polo australe della terra respinge il polo nord secondo ND , e attrae il polo sud secondo SD'. Per essere piccolissime le dimensioni della verga, e immensa la distanza dai poli della terra, l'attrazione NC e la ripulsione SC' possono considerarsi come due forze uguali e parallele ; e tali pure fra loro la ripulsione ND e l' attrazione SD'.

Epperò componendo insieme questi due sistemi di forze angolari NC e ND, SC' e SD', le risultanti NR, SR', saranno pure uguali e parallele.

L'influenza dunque della terra sovra una verga calamitata equivale ad una coppia di forze uguali parallele ed opposte, applicate sull'asse presso le estremità, e generalmente inclinate all'orizzonte.

14. Sistema astatico. Formano un *sistema astatico*, cioè insensibile all'azione direttrice della terra, due aghi *ab*, *a'b'* (fig. 19)

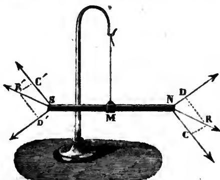


Fig. 18.

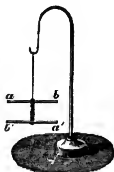


Fig. 19.

della stessa forza magnetica, e congiunti invariabilmente in posizione parallela fra loro, ma co'poli di nome contrario rivolti dalla medesima parte. Poichè in questo caso la terra esercita azioni uguali ed opposte su i due poli *a* e *b'*, come pure su i due poli *a'* e *b:* ed il sistema rimane assolutamente immobile.

Nel trattare delle correnti elettriche farem noto il vantaggio che si trae da tale maniera di accoppiamento. Ma anche ora dobbiamo avvertire, che se ne fa uso specialmente quando si debbono scovrire o anche misurare deboli forze elettriche o magnetiche. Nel quale caso è necessaria squisitezza di sensibilità nell'ago, la cui deviazione dee servire d'indizio o di misura.

Magnetometro di Melloni. Melloni imaginò un *magnetometro* sensibilissimo fondato sugli esposti principii. I dne aghi *ns*, *n's'* (fig. 20) costituiscono il sistema astatico ; il primo scorre lnngo una circonferenza graduata, il secondo è dentro una scattola di rame poggiata sopra una base. La specialità dell'istrumento con-

siste in ciò, che i due aghi sono abbastanza lontani per non esercitare influenza l'uno sull'altro, fuorchè relativamente all'azione della terra.

MISURE E LEGGI DELLE FORZE MAGNETICHE.

15. **Intensità del magnetismo terrestre.** Con aver determinato la declinazione e la inclinazione magnetica in un dato luogo abbiam conosciuta la direzione della coppia terrestre : importa ora che vediamo come se ne scopra la intensità o il valore.

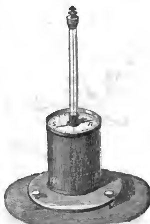


Fig. 20.

Graham pare che il primo nel 1722 siasi occupato di queste ricerche ; e poscia Saussure, Borda, Humboldt, Gauss sono fra gli altri i nomi più illustri, che figurano nella soluzione di tale problema. Usarono diversi metodi, che in sostanza riduconsi a due, cioè a quello delle oscillazioni, e all'altro della torsione.

1.° *Metodo delle oscillazioni.* Un ago d'inclinazione allontanato d'un poco dalla posizione di equilibrio, vi ritorna con una serie di oscillazioni, le quali seguiranno la stessa legge che le oscillazioni d'un pendolo. Laonde se N e N' sono i numeri di oscillazioni, che uno stesso ago compie nel medesimo tempo in due luoghi diversi, ed I, I' le intensità del maguetismo, avremo

$$I : I' :: N^2 : N'^2;$$

cioè « le intensità del magnetismo terrestre in due luoghi sono come i quadrati delle oscillazioni che uno stesso ago compie nel medesimo tempo. »

Veramente perchè il forte attrito dell'ago d'inclinazione diminuisce e distrugge rapidamente le oscillazioni, e, per esserne difficile la sospensione del tutto equilibrata, la gravità ne pertusba la durata delle oscillazioni, si suole preferire l'ago di declinazio-

ne. Ma essendo i ed i' i valori della inclinazione nelle due stazioni, faremo invece uso della proporzione seguente:

$$I \cos i : I' \cos i' :: N^2 : N'^2.$$

Non fa bisogno notare che l'ago non deve aver subito alcuna variazione d'intensità durante le due osservazioni.

2.° *Metodo della torsione.* Coulomb nei classici lavori sulle leggi delle forze magnetiche dal 1784 al 1789 à indicato come misurare la intensità della forza direttrice della terra mediante la torsione d'un filo. Egli impiega la sua *bilancia magnetica* o *di torsione* (fig. 21). Questa consiste in un ago calamitato AB sospeso orizzontalmente all' estremo d'un sottilissimo filo di argento, entro una cassa di lastre. Il fondo superiore di questa à un foro nel centro: vi si adatta un tubo di cristallo girevole a sfregamento all'orlo del foro, e che finisce in alto con un *micrometro* EN. Il micrometro, rappresentato a parte nella figura, componesi di due tamburi sovrapposti; l'uno *d* fisso e diviso in 360 gradi, l' altro *e* girevole intorno all' asse comune, ed à un trattolino di riscontro *a*, che indica nelle varie esperienze il numero di gradi di che à girato sul primo. Per questo tubo passa il filo d'argento che si avvolge in alto intorno a un verricello. Sul fondo poi della cassa v'è una circonferenza graduata, per misurare le deviazioni dell' ago. Talvolta il filo di argento si protrae alcun poco sotto l'ago e finisce con un contropeso di rame, che si fa pescare in acqua affinchè le oscillazioni di quello sieno meno ampie, e più prestamente si abbia equilibrio.

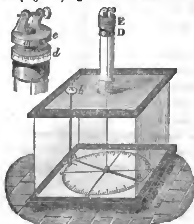


Fig. 21.

Ecco ora come si conducono le osservazioni. In primo luogo è necessario assicurarsi, che quando l'ago si equilibra nel meridiano magnetico e i suoi estremi guardano i punti o, o della scala graduata, il filo d'argento non soffra torsione benchè minima. Ciò si ottiene con aggiustare da principio il diametro che passa pei punti *o*, *o* della scala nel meridiano magnetico determinato dall'a-

go della bussola; poscia tolto l'ago calamitato, e sostituito in sua vece un simile ago di rame o di altra sostanza non magnetica, si gira il tamburo E del micrometro finchè questo secondo ago coincida col meridiano magnetico. Allora è chiaro che, rimettendo al suo posto l'ago calamitato, questo si orienterà con esattezza e senza alcuna torsione del filo. Si comincia poi a torcere il filo girando il tamburo E per un verso o per l'altro in maniera da far deviare il polo Nord dell' ago verso est o verso owest. Si scovrirà che se lo spostamento dell' ago non eccede i 20 gradi esso è proporzionale all'angolo di torsione (*); val quanto dire che se ad avere nell' ago la deviazione d'un grado è necessaria la rotazione di 35° nel tamburo E, a produrre una deviazione di 2° farà bisogno di una torsione di 70°, e di una torsione di 105° per una deviazione di 3°, e così di seguito. Adunque la forza direttrice della terra, che tende a ricondurre l' ago nel meridiano magnetico, è rappresentata in ciascuna osservazione dagli angoli di torsione che il ritengono a distanze angolari più o meno grandi, o, che vale altrettanto, da queste medesime distanze angolari.

16. **Variazioni della intensità del magnetismo terrestre.** Mercè gli esposti metodi si è scoverto che è varia la intensità del magnetismo terrestre con le seguenti leggi:

1.° La intensità magnetica cresce con la latitudine magnetica: a'poli sarebbe quasi doppia che all'equatore magnetico (**).

2.° La intensità magnetica diminuisce col crescere l'altezza sulla superficie terrestre. Kupffer sul Caucaso à trovato la diminuzione d'un millesimo per 300 metri di altezza.

3.° La intensità magnetica subisce pure variazioni periodiche diurne e annue. Tra le 10 e le 11 del mattino è maggiore che tra le 4 e le 5 dopo mezzodì; raggiunge un massimo verso il solstizio d'inverno e un minimo al solstizio d'està. È soggetta pure a perturbazioni accidentali durante le aurore polari.

Per avere una idea dell' andamento delle intensità magnetiche ne' varii luoghi riferiamo qui i risultamenti di alquante osservazio-

(*) Veramente l'angolo di torsione è proporzionale con rigore a' seni degli angoli di deviazione; ma dentro gl'indicati limiti senza errore apprezzabile può prendersi l'angolo pel suo seno.

(**) Esprimendo con 1 la intensità magnetica all' equatore, la intensità corrispondente a qualunque latitudine λ è data dalla formola

$$i=\sqrt{1+3sen^2\lambda}$$

ni: la intensità all'equatore è presa per unità:

Napoli..... 1,266; Roma... 1,277; Firenze... 1,300
Inspruck... 1,313; Parigi...1,348; Brusselle... 1,362.

17. Legge delle attrazioni e ripulsioni magnetiche. *Le attrazioni e le ripulsioni mognetiche si òperano nella ragione inversa de' quadrati delle distanze.*

1.° *Metodo de' contropesi.* L'italiano G. Antonio dalla Bell a professore a Coimbra fu il primo a dimostrarla comunque imperfettamente. Ei disponeva una calamita così, che la linea congiungente i poli fosse verticale: poscia le avvicinava altra piccola calamita sospesa al braccio d'una bilancia; e portandola ora a maggiore ora a minore distanza determinava ogni volta la intensità dell'azione per mezzo de'varii pesi necessarii all'equilibrio.

2.° *Metodo delle oscillazioni.* Ma la dimostrazione rigorosa è dovuta a Coulomb, il quale si valse dell'istesso doppio metodo superiormente esposto, delle oscillazioni cioè e della torsione.

Per impiegare il primo metodo ei dispose verticalmente nel piano del meridiano magnetico un filo d'acciaio sottilissimo e fortemente calamitato (fig. 22); al polo sud di questo avvicinò a differenti distanze successivamente il polo nord d'un ago di prova calamitato *ns* molto corto in modo,che la linea congiungente questi poli delle calamite fosse nella medesima orizzontale. É chiaro, che spostando l'ago le oscillazioni che esso compie dipendono e dall'azione della terra, e dall'attrazione del polo contrario. Adunque per avere la intensità della sola attrazione delle calamite convien sottrarre dal quadrato del numero totale delle oscillazioni, il quadrato di quelle dovute alla sola azione della terra. Ripetendo questo calcolo ottenne, che l'attrazione si riduceva alla quarta parte a distanza doppia, e così di seguito. Al medesimo risultamento giunse studiando le ripulsioni tra poli dello stesso nome (*).



Fig. 22.

3.° *Metodo della torsione.* Coulomb usò pure all'istesso scopo la sua bilancia magnetica (fig. 21), nella quale l'ago

(*) Sieno n, n' n'', i numeri d'oscillazione che compie l'ago di prova oscillante prima sotto la sola influenza terrestre, e poi alle due distanze d', d'

sospeso del diametro di 3^{mm} era lungo 950^{mm}. Allorchè questo senza alcuna torsione del filo di sospensione si equilibrava nel meridiano magnetico, egli introduceva verticalmente nella bilancia per un foro esistente nella lastra superiore un altro ago delle stesse dimensioni che il primo. Imaginiamo che questi due aghi *ab*, AB presentino l'uno all'altro i poli ononimi, e nell'istesso piano: la calamita mobile sarà respinta e 'l polo della calamita verticale prenderà il posto del polo dell'altra nel meridiano. Coulomb girando il tamburo superiore del micrometro comunicava al filo di sospensione que' gradi di torsione ch'erano necessari per ritenere l'ago mobile a distanze angolari determinate dal piano del meridiano magnetico sotto la ripulsione della calamita verticale. Ciò facendo la ripulsione della calamita verticale dovea equilibrarsi ogni volta con due forze tendenti entrambe a ricondurre l'ago nel meridiano, cioè l'azione della terra, e la torsione del filo. L'azione della terra vien definita a parte (15), e si esprime pure con una certa torsione del filo. Adunque con sommare queste due torsioni per ciascuna posizione di equilibrio Coulomb ottenne la espressione della forza ripulsiva. Nell'istessa guisa operò per l'attrazione tra i poli contrari.

18. Distribuzione del magnetismo nelle calamite. Sebbene l'azione della terra sulle calamite riducasi a due forze applicate esclusivamente a' loro poli, non è così di ogni azione magnetica. Che il magnetismo sia variamente distribuito per la lunghezza d'una calamita, si manifesta già abbastanza con la esperienza del pendolo magnetico (7); ma v'à de' metodi speciali per meglio studiarne il modo, e per averne la misura.

1.° *Curve o spettri magnetici*. Le figure, che si ottengono con la limatura finissima di ferro sur una lastra sovrapposta ad una calamita (2), rendono visibile il fatto di che ci occupiamo. Se la calamita è lunga, la limatura sembra tutta convergere ai poli, ri-

dalla calamita; ed f, f', f'', le corrispondenti forze magnetiche; avremo

$$f : f' : f'' :: n^2 : n'^2 : n''^2;$$

donde

$$f' - f : f'' - f :: n'^2 - n^2 : n''^2 - n^2.$$

Nelle esperienze citate per le distanze di 8 e 4 pollici Coulomb ottenne

$$n = 15,\ n' = 41,\ n'' = 24.$$

Sostituiti dunque questi valori nella precedente formola si avrà:

$$\frac{f'' - f}{f' - f} = \frac{24^2 - 15^2}{41^2 - 13^2} = \frac{1}{4}.$$

manendone priva la parte centrale: ma se quella è corta, la polvere si distribuisce intorno alla sezione neutra descrivendo delle curve, che vanno da un polo all'altro somiglianti ad ellissi, aventi per asse comune quello della calamita, e per vertici i suoi poli. De Haldat chiama queste curve *spettri magnetici*, ed è riuscito a fissarle sovrapponendo alla lastra, su cui sono descritte, un foglio di carta ben tesa impregnata di colla d'amido preparata con gelatina. Egli si è assicurato che 1.° i centri da cui partono queste curve sono i poli, sebbene essi medesimi non sieno coverti da limatura : 2° le curve divergenti alla origine, non restano distinte in tutta la lunghezza, ma si riuniscono formando delle specie di maglie : 3° sono differenti quando vengono prodotte da due calamite variamente collocate l'una rispetto all'altra.

2.° *Metodi di Coulomb.* Anche questo problema è stato risoluto da Coulomb co'suoi metodi.

Valendosi della torsione usava due aghi come quelli impiegati per la legge delle attrazioni e ripulsioni. Ei faceva strisciare differenti punti dell'ago fisso dietro una sottilissima verga di legno innanzi all'ago mobile: così per essere minima la distanza tra i due aghi diveniva nulla la influenza de' punti laterali. Osservava poi quale torsione bisognava dare ogni volta al filo di sospensione perchè l'ago mobile rimanesse nel meridiano magnetico: questi angoli di torsione danno la forza del corrispondente elemento dell' ago fisso. È chiaro che restando l' ago nel meridiano magnetico non occorre correzione di sorta per l'azione della terra.

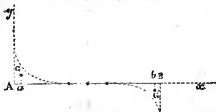
Col metodo poi delle oscillazioni, ei faceva strisciare innanzi ad uno stesso ago di prova, ed esattamente alla medesima distanza, una lunga verga calamitata così, che tutt'i punti di questa venissero successivamente nello stesso piano orizzontale di quello. Contava ogni volta i numeri di oscillazioni, e tenendo conto dell'azione della terra ragionava in tutto come dicemmo.

19. **Curva delle intensità.** Coulomb à rappresentato graficamente il magnetismo ne'diversi punti d'una verga per mezzo della *curva delle intensità* nel seguente modo. La retta AB (fig. 23), che sarebbe la verga calamitata, è presa per asse delle ascisse x : le ordinate y sono proporzionali alle intensità per ciascun punto di quella, e sono positive da un lato della sezione neutra, negative dall'altro, per esprimere la opposizione nelle due estremità.

Biot à trovato una equazione empirica della curva delle inten-

sità. Con ciò si possono col calcolo rinvenire i poli della verga AB cercando i centri di gravità G e G' delle aree di ciascuna metà della curva, e proiettandoli in a, e b sull'asse della calamita.

Ecco le conseguenze di tutt'i metodi esposti sperimentando successivamente sovra aghi di differenti dimensioni. Se rimane costante il diametro dell'ago, e ne varia la lunghezza, purchè sia maggiore di 20 centimetri, l'andamento delle due metà della curva delle intensità è il medesimo, solamente sono esse più o meno discoste fra loro; quindi è pure costante la posizione de' poli a 4 centimetri di distanza dagli estremi. Ma se gli aghi sono molto corti, i poli distano da ogni estremo per un sesto della loro lunghezza. Ciò vale per gli aghi sottili, e di forma perfettamente regolare, per esempio cilindrica o rettangolare. Negli aghi in forma di losanga i poli sono anche più discosti dagli estremi.


Fig. 23.

Che se il diametro de' fili calamitati si cangia, varia pure la distanza de' poli dalle estremità proporzionalmente al diametro.

20. Momento magnetico d'un ago calamitato. Coulomb chiamò *momento magnetico* la forza richiesta per ritenere in equilibrio un ago calamitato a una certa distanza angolare dal meridiano magnetico. Or tale forza è nella ragione composta della forza direttrice del globo, della forza magnetica dell' ago e della distanza de' due poli dell'ago dal centro di sospensione. Laonde poichè operando in uno stesso luogo la forza direttrice del globo è costante, i momenti magnetici di più aghi misurati dalle torsioni del filo necessarie per avere una medesima deviazione angolare, sono proporzionali ai prodotti delle forze magnetiche degli aghi per la distanza de'due poli dal centro di sospensione.

Supponiamo che gli aghi, de'quali vuole determinarsi la forza magnetica, abbiano lunghezza e diametro costanti: sarà allora la stessa la distanza de' poli dal centro di sospensione. Perciò i loro momenti magnetici saranno proporzionali alle forze magnetiche, ossia verranno queste misurate dalle torsioni necessarie per mantenerli a una medesima distanza angolare dal meridiano magnetico.

21. Forza coercitiva. Ogni sostanza magnetica è atta a di-

venire calamita, cioè ad acquistare la polarità per azione d'un'altra calamita. Sono notevoli però le differenze che presentano nel calamitarsi soprattutto il ferro dolce e l'acciaio. Il ferro dolce agevolmente prende il magnetismo e valido in presenza d'una calamita, ma tosto il perde allorchè questa si allontana: per converso l'acciaio è più restio a magnetizzarsi, ma più tenacemente ritiené la virtù acquistata. Questa proprietà dell'acciaio si attribuisce ad una *forza* che chiamasi *coercitiva*, della quale è privo il ferro dolce.

Si osservi però che per tale uso il ferro deve essere ben puro, e dippiù non deve aver subito alcuna di quelle operazioni meccaniche che il rendono *crudo*, come la torsione e la percossa; o, se fosse divenuto tale, deve aver perduto col *ricuocimento* la durezza che in quelle operazioni avea acquistata. L'acciaio poi à una forza coercitiva tanto più intensa quanto più forte è la tempera.

22. Azione della calamita sul ferro dolce, influenza magnetica. Il primo carattere che abbiamo scoverto in una calamita è stato la sua attrazione pel ferro. Ora aggiungiamo che il ferro in presenza d'una calamita diviene calamita esso medesimo con questa legge, che la sua estremità più vicina al polo della calamita diventa un polo di nome contrario, e la estremità più lontana cangiasi in polo del medesimo nome. Già que' filetti o quelle barbe che si formano con briccioli di limatura intorno a ciascun de' poli dimostrano abbastanza, che le particelle di limatura s'incatenano così come se tutte fossero divenute calamite, e ciascuna è attratta dalla precedente, ed attrae la seguente: ma è importante persuadersene mercè distinte esperienze.

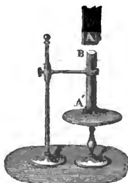


Fig. 24.

Sospendiamo un cilindro di ferro A'B (fig. 24) al di sopra d'una base aspersa di limatura di ferro: nell'atto in cui si avvicina il polo A d' una calamita alla estremità B, la limatura sarà attratta di presente dalla estremità A' come se A'B fosse una calamita.

Se la verga di ferro *ns* (fig. 25) è sita orizzontalmente sopra una lastra aspersa di limatura, e si avvicina da un lato il polo d'una calamita NS, la limatura le si disporrà all'intorno come a vera calamita; cioè acquisterà i due poli *n*, *s*, e la linea neutra *mm*.

E se dopo avere avvicinato il polo A della calamita (fig. 26) al cilindro di ferro BA, si presenti il cilindretto di ferro *m* all'estremità A, vi resterà aderente: e similmente si attaccheranno un dopo l'altro i cilindretti *n*, *p*, *q*, costituenti una catena di calamite somiglianti a quella composta dalla limatura.

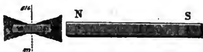


Fig. 25.

Si può determinare anche la natura de' poli nelle calamite successive nel seguente modo. Se mentre il cilindro BA' (fig. 27) è

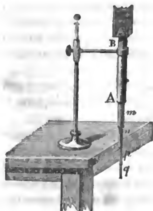


Fig. 26.

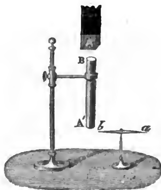


Fig. 27.

sotto la influenza del polo australe A si avvicina alla estremità A un ago calamitato *ab*, il polo boreale di questo *b* si rivolgerà attratto dall'estremo A' e 'l polo australe *a* sarà respinto. Adunque il cilindro di ferro BA' acquista un polo boreale nella sua estremità B più vicina al polo australe della calamita, ed un polo australe nella sua estremità A' più lontana. Si scovre relativamente il medesimo in tutt'i pezzi successivi della catena.

Se il ferro sottoposto a queste esperienze è assolutamente dolce, allontanando la calamita A la limatura si stacca dalla verga BA' (fig. 21), e la catena *m*, *n*, *p*, *q* (fig. 26) si scompone; e l'essere ugualmente attratti i due poli *a* e *b* (fig. 27) da'due estremi B, A' della verga dimostra, che questa à perduto ogni magnetismo acquistato.

A tutti cotesti fenomeni si dà nome d'*induzione* o d'*influenza magnetica*.

23. **Calamitazione permanente.** Poichè il solo acciaio possiede in grado eminente la forza coercitiva, le calamite artificiali non si compongono che di acciaio. Ecco i modi di calamitarlo.

1.° *Semplice contatto.* Toccando col polo d'una calamita una verga di acciaio, questa più o men prestamente si calamita. Se il polo tocca un'estremità della verga, quivi essa prende un polo di nome contrario al polo della calamita, e nell'altra estremità un polo del medesimo nome.

Magnetismo più valido si comunica strisciando il polo della calamita per tutta la lunghezza della verga da un estremo all'altro, e ripetute volte, e sempre nel medesimo senso: allora qnella estremità della verga, da cui comincia il contatto, prende un polo del medesimo nome che il polo della calamita, e quella in cui finisce prende un polo di nome contrario.

Finalmente dopo avere strofinato un pòlo per un verso si può strisciare il polo opposto in verso contrario : la seconda serie di azioni sarà cospirante nell'effetto alla prima.

Questo metodo è il solo conosciuto dagli antichi (*), e il meno efficace; ora non si usa che per calamitare de' piccoli aghi.

2.° *Contatto separato.* L'impiegarono Knight fisico inglese nel 1745 e Duhamel membro dell'Accademia di Francia. La verga *ab* (fig. 28) da calamitare è tenuta orizzontalmente e riposa sovra una



Fig. 28.

riga di legno: da un lato e dall'altro le son dappresso due forti calamite BA, BA co' poli opposti in contatto con la verga. Sul mezzo di questa si poggiano le due estremità di due altre valide calamite inclinate di 25° a 30° sul suo asse, e disposte co'loro poli come le calamite inferiori. Si fanno poi strisciare sulla verga le due calamite snperiori così, che ciascuna dal mezzo vada all'estremo che le corrisponde: colà giunte entrambe si sollevano, e si ri-

(*) Ferrum tactum acquirit contrariam verticitatem. Gilbert. l. 3. cap. 4.

mettono al mezzo come prima per ripetere l'operazione da capo; e così più volte di seguito. La ragione del metodo è riposta in ciò, che così le calamite fisse come le mobili tendono a produrre il magnetismo secondo lo stesso senso.

3.° *Doppio contatto.* Fu usato da Epino fisico russo nel 1760. Disponeva pure la verga da calamitare tra due potenti calamite fisse, e poggiava due altre calamite mobili nel mezzo co' loro poli come abbiam detto, ma inclinate solo di 15° a 20 all'orizzonte, e mantenute a piccola distanza tra loro per mezzo d'un sottile parallelepipedo di sostanza non magnetica. Quindi dal mezzo della verga le due calamite insieme si strisciano fino ad un estremo, poi da questo all'altro estremo, e da esso al mezzo: si ripetono tali operazioni avvertendo di cominciare sempre dal mezzo e di finire pure colà, ma solo quando si è strisciato uno stesso numero di volte su ciascuna metà.

Questo metodo va preferito al secondo quando si tratta di calamitare verghe di considerevole spessezza; ma sovente cagiona de'punti conseguenti o almeno poli di forza inegnale.

21. **Calamitazione prodotta dalla terra.** Poichè l'azione della terra sulle sostanze magnetiche riducesi a quella di una immensa calamita, dobbiamo aspettarci che anche la terra sia atta a magnetizzare. E di fatto se una verga di ferro dolce sia collocata nel piano del meridiano magnetico, e nella direzione dell'ago d'inclinazione, essa diviene all'istante una *calamita temporanea*: nella sua estremità inferiore si forma sempre il polo nord, e nella superiore il polo sud. Che se la verga si capovolge, i poli si scambiano in quanto agli estremi della verga, cioè a dire conservano sempre la stessa relazione di sito riguardo alla terra. Questo fatto dimostra ad evidenza che la magnetizzazione è dovuta esclusivamente alla terra, e vien detta *magnetismo di posizione*.

L'azione della terra sulle sostanze magnetiche à un valore massimo quando esse sono parallele all'ago d'inclinazione; ma in generale si esercita pure sia qualunque la loro direzione nello spazio: così se la verga è parallela all'ago di declinazione diverrà polo nord il polo che guarda il Nord, e polo sud l'opposto. Solamente quest'azione è nulla se la verga è situata perpendicolarmente al piano del meridiano magnetico. Diventa pur nulla per un istante allorchè, dopo aver tenuta la verga in una certa posizione, le si fa compiere mezza rotazione nell'istesso piano: poichè siccome

nelle due opposte posizioni della verga i suoi estremi prendono poli di nome contrario, essa deve passare per una giacitura intermedia, in cui sia priva di polarità.

Il magnetismo di posizione può studiarsi appressando alla verga un ago calamitato mobilissimo: ma vale assai meglio a quest' uso il magnetometro di Melloni (14).

Se mentre una verga di ferro dolce giace nel meridiano parallelamente all'ago d'inclinazione, se ne percuotano fortemente gli estremi con martello, essa acquista magnetismo più intenso sotto l'azione della terra, ed inoltre ne ritiene una parte allorchè vien rimossa da quella posizione. Ciò dimostra che con la percossa à concepito un certo grado di forza coercitiva. Producono il medesimo effetto la torsione, la trafila, e somiglianti azioni meccaniche sotto la influenza della terra. Di qui si spiega perchè nelle officine da chiavaiuolo e d'ogni specie di manifattura in ferro tutti gli utensili e gli oggetti lavorati presentano tracce di magnetizzazione. Sembra pure che la lenta ossidazione del ferro esposto all'aria sia capace d'imprimergli una qualche forza coercitiva, e quindi di fargli ritenere il magnetismo acquistato per influenza della terra. Un chirurgo di Rimini per nome Giulio Cesare nel 1590 fu il primo a scovrire magnetizzata una verga di ferro appartenente all'anemometro sul campanile di S. Agostino in Mantova, e Gassendi verso il 1630 osservò la stessa cosa sulla croce del campanile di S. Giovanni d'Aix in Provenza.

Anche l'acciaio temperato si magnetizza sotto la influenza del globo ; con che svanisce tutto il maraviglioso nel problema di Knight, il quale riduceva delle barre di acciaio a valide calamite senza il soccorso di altre calamite. Scoresby ottenne altrettanto; e giunse pure con lo stesso mezzo a diminuire ed anche annullare il magnetismo che già una verga avesse acquistato. Dunque la terra è capace di agire in ambo i modi come una forte calamita, secondo la situazione in cui il corpo ne riceve influenza.

25. **Punto di saturazione.** Quale che sia il metodo per calamitare, il magnetismo si accresce con operazioni successive; ma più o men prestamente raggiunge un determinato limite per ogni verga, che non è possibile oltrepassare d' una maniera costante. Cioè a dire, ancorchè si riesca a produrre temporaneamente una magnetizzazione più valida, pure dopo un tempo più o meno lungo, la verga ritorna al suo grado normale. Questo limite d' inten-

sità, che essa è capace di conservare, dicesi *punto di saturazione*.

Condizioni da cui ne dipende il valore. Sono parecchie le condizioni della maggiore o minore intensità, che costituisce il punto di saturazione d'una calamita. Esaminiamo le principali :

1. *Forma e dimensioni*. Coulomb à trovato che la diversa figura d'un ago, essendo pari tutte le altre circostanze e sovrattutto la tempera, la spessezza, il peso, ne altera il grado di saturazione. La forma di freccia è più favorevole della rettangolare.

In quanto poi alla influenza delle dimensioni, egli à scoverto la seguente legge, che «il momento magnetico di verghe simili è pro-» porzionale ai cubi delle loro dimensioni omologhe. »

2. *Tempera*. È massimo il potere che esercita il grado di tempera. Coulomb sperimentò a questo modo. Temperò in acqua una stessa verga di acciaio dopo averla successivamente riscaldata a temperature sempre più elevate : la calamitò a saturazione dopo ogni tempera, e fattala oscillare misurò ogni volta il tempo impiegato a compiere dieci oscillazioni. In queste esperienze potendo assumersi come sensibilmente costante la posizione de'poli, ne conseguita che le forze magnetiche della verga erano nella ragione reciproca de'tempi. Ora il risultamento fu come segue :

Calore della tempera . . . . 873°, 975°, 1075°, 1187°
Durata di dieci oscillazioni . . 93″, 78″, 68″, 63″.

Donde si deduce che la forza coercitiva si accresce quando è più elevato il grado di tempera.

Allorchè l'acciaio temprato si riouoce con esporlo novellamente al fuoco, la tempera si raddolcisce, o, come dicesi, l'acciaio *si fa rinvenire*. Esso presenta dapprima varie tinte, poi diviene rovente, il quale stato a partire dal rosso oscuro va fino al calore rosso ciriegia chiaro. Se l'acciaio a questo punto più elevato d'incandescenza si toglie dal fuoco, si trova di aver perduto interamente la tempera che prima avea acquistata: sarà poi raddolcita più o meno se a temperature più o meno basse.

Inoltre Coulomb volle con una seconda serie di osservazioni inverse confermare il risultamento delle prime. Dopo aver dato il più forte grado di tempera a quella verga la ricuoceva a temperature sempre crescenti: la calamitava ogni volta a saturazione, e la faceva oscillare. Ottenne i numeri seguenti:

Temperature . . . . . . 15°, 267°, 512°, 1122°,
Durata di 10 oscillaz. . 63″, 64″,5, 70′, 93″,

i quali dimostrano che la forza coercitiva diminuisce col ricuocere l'acciaio a temperatnra più elevata.

3. *Temperatura.* Oltre la influenza del calore sul grado di magnetismo in ordine alla tempera ve n'è pure un'altra più generale. Allorchè il riscaldamento è debole nna verga di acciaio calamitata perde porzione del suo magnetismo, il quale però ritorna col raffreddamento; se è più forte, la diminuzione è permanente; al rosso-ciriegia poi l' acciaio e' l ferro perdono tutte le loro proprietà magnetiche, val quanto dire che mentre sono mantenuti a temperatura tanto elevata sono insensibili all'azione di qualnnque calamita , ed àn perduto ogni influenza sull' ago calamitato. Ponillet chiama *limite magnetico* questo grado di temperatnra, ed à scoverto che è vario per le diverse sostanze:

pel nickel il limite magnetico è verso 350°

pel cromo un poco al disopra del calore rosso oscuro,

pel ferro alla temperatnra del rosso-ciriegia,

pel cobalto al disopra del calore bianco più abbagliante.

4. *Magnetizzazione precedente.* Si deve al professore Stefano Marianini la scoverta, che una barra di acciaio conserva indefinitamente tendenza al magnetismo secondo quella direzione che una volta à acqnistata. Infatti operando inversamente distrnggiamo il magnetismo comunicato ad una verga ; questa lasciata a se dopo qualche tempo si trova magnetizzata nel primo senso , molto più se venga leggermente percossa ; e quando si magnetizza novellamente, il momento magnetico avrà un maggior valore con le stesse operazioni se queste tendono a comunicarle magnetismo nella prima direzione che se nella seconda.

26. **Armatura delle calamite.** Allorchè una calamita rimane lungo tempo in posizione diversa da quella che prenderebbe per azione della terra, soffre una notevole diminuzione d'intensità. Così nel nostro emisfero un ago calamitato tenuto verticalmente e col polo sud verso il basso, perderebbe per gradi la sua forza magnetica : e basterebbe percuoterlo in tale posizione , per distruggerne interamente la polarità e sinanco per invertirla.

Similmente se più verghe calamitate son dappresso le une alle altre senza ordine, esercitano una influenza scambievole, il cui effetto per l' ordinario è d' indebolirsi reciprocamente ; soprattutto quando sieno esposte ad urti o scuotimenti di qnalunque natnra. Affine di persuadersi sensibilmente che è in vero poderosa questa

azione d'una calamita su di un'altra, vale la seguente esperienza. Mentre un piccolo arnese di ferro, per esempio una chiave (fig.29), aderisce al polo A d'una verga calamitata, si faccia strisciare sovr'essa una seconda calamita col polo contrario B dall'istessa parte. Allorchè i due poli contrarii si sono avvicinati ad un certo punto, la chiave non è più abbastanza sostenuta dal polo A e cade.



Fig. 29.

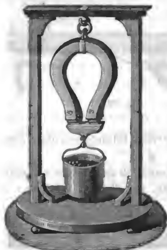
Scopo delle *armature* è appunto evitare tal deperimento o alterazione della polarità magnetica.

Barre rettangolari. Primamente trattisi di *armare* due calamite di forma rettangolare *ab*, *ab* (fig. 30). Si collocano parallele e a piccola distanza l'una dall'altra con i poli di nome contrario dalla medesima parte; poi alle due estremità si attaccano due pezzi di ferro dolce AB, AB, uno da ciascuna parte, i quali sono detti *armature*. S'intende di leggieri quale sia l'ufficio dell'armatura e come influisca a conservare inalterata la forza della calamita: il ferro dolce divien calamita esso stesso e nel medesimo senso per l'azione simultanea de' due poli contrarii *a*, *b*; così reagisce sulle calamite come per indurre in esse la stessa polarità di che quelle sono dotate.


Fig. 30.

Fasci magnetici. Più verghe calamitate sovrapposte le une alle altre compongono i *fasci*, o, come dicono i francesi, *magazzini magnetici.* Vengono essi preferiti ad una sola verga di massa e dimensioni uguali, perchè più agevole e più regolare magnetismo si comunica ad una lamina di minore spessezza; ma sarebbe errore pensare che il momento magnetico riesca proporzionale al numero delle verghe. Bisogna usare ogni diligenza per assicurarsi che rispondano dalla medesima parte i poli dell'istesso nome. Coulomb raccomanda che sieno le verghe di numero dispari e non della medesima lunghezza, affinchè possano disporsi a scaglioni: la centrale più sporgente, le altre rientranti per ordine. Alle due estremità vengono applicate le armature di ferro dolce.

Calamite a ferro di cavallo. Sovente le calamite artificiali semplici o i fasci magnetici si piegano a *ferro di cavallo* in maniera, che i poli opposti sieno terminati da facce che si trovano nel medesimo piano (fig. 31). Si à così un doppio vantaggio: 1° che un solo pezzo di ferro dolce, da noi italiani chiamato *ancora*, e dai francesi *contatto*, fa l' ufficio dell' armatura all'uno e all' altro polo; 2° che sospendendo la calamita verticalmente ad un sostegno, si può per mezzo d' un gancio unito all'ancora applicare un peso ai due poli, che valga a tenerla in attività. È importante osservare in quanto all' influenza dell' ancora, che dai due poli riuniti mediante l' ancora una calamita sostiene un peso di gran lunga superiore del doppio di quel che porta un polo solo.


Fig. 31.

Armatura delle calamite naturali. Si forma una calamita naturale (fig. 32) tagliandola in forma di parallelepipedo rettangolare così che i poli A, B, corrispondano a due facce opposte. Su queste poi si applicano le due lamine o *gambe* di ferro dolce *a*, *b*, le quali si piegano inferiormente e combaciano a angolo rotondato col rispondente angolo del magnete interno, ed occupano ciascuna una terza parte della sua base; da ultimo si fermano con fasce trasversali di rame. L' ancora aderisce per attrazione alle parti sporgenti di quelle. Dalle mani stesse del Galilei fu armata la calamita, che tuttora esiste nel Museo di Firenze, e fu da lui donata al Cardinale Gio. Carlo fratello di Cosimo II.

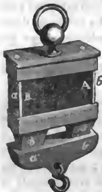


Fig. 32.

27. Carica delle calamite. Non v'è una relazione certa tra la massa di una calamita, e 'l peso ch'essa può sostenere. Se trattasi delle calamite naturali, le più grandi in generale reggono un

peso maggiore; ma le più piccole ànno più intensa questa virtù relativamente alla loro massa. Nei diarii dell'accademia del Cimento si fa menzione d'una piccola calamita, che sosteneva un carico equivalente a 75 volte il suo peso. In quanto poi alle calamite artificiali a ferro di cavallo, Hoecher à dimostrato che « la forza è « proporzionale alla radice cubica del quadrato del loro peso ».

La legge di Barlow che « la forza di una calamita sia proporzio- « nale alla sua superficie indipendentemente dalla massa » per modo, che due calamite di pari superficie, piena l'una l'altra vuota, debbano sostenere pesi uguali, sembra non sia vera che dentro certi limiti.

È notevole quel fatto conosciuto da tempo remotissimo, di cui però non si può dare adequata spiegazione, che se una calamita si carica di tutto il peso che può sostenere, dopo qualche tempo, per esempio l'indomani, quel peso potrà essere accresciuto, e così di seguito sino ad un certo limite. L'operare a questo modo si dice *nudrire la calamita*. A tal fine si sospende all'ancora una coppa, entro cui si vanno aggiungendo man mano de'pallini da schioppo. Se bruscamente si distacca il carico, la calamita poi non potrà reggerlo tutto in una volta, e bisognerà andarla nudrendo di bel nuovo come prima.

28. **Ipotesi magnetiche.** Due ipotesi furono imaginate nel decorso secolo per rendere ragione de' fenomeni magnetici. Ci basterà darne un cenno senza applicarle a'fatti; imperocchè nello stato attuale della scienza non fa d'uopo ricorrere ad esse, spiegandosi adeqnatamente i fenomeni magnetici con le teoriche delle correnti elettriche, come vedremo.

Un fluido solo. Alcuni fisici, come Epino e Franklin, ammisero *unico e semplice* il fluido magnetico; esiste nel ferro e nella calamita e ne' corpi che si magnetizzano. Rarefatto e condensato o comunque messo in moto dall'azione di una calamita, o dalla terra, è cagione della polarità e con essa di tutt'i fenomeni magnetici.

Epino sottoponendo questa ipotesi al calcolo trovò necessario

1.° che vi fosse ripulsione tra le particelle del fluido nella ragione inversa de' quadrati delle distanze;

2.° che mutnamente si attraessero le particelle del fluido con quelle del ferro;

3.° che il fluido agevolmente potesse muoversi ne'pori del ferro e dell'acciaio dolce, e difficilmente in quelli dell'acciaio temperato;

4.° che mutuamente si respingessero le particelle del ferro.

Due fluidi. Altri fisici, tra i quali Coulomb, ammettono due fluidi magnetici distinti, che prendono il nome dall'emisfero terrestre in cui abbondano, e si chiamano *boreale* e *australe*. Ogni corpo magnetico contiene i due fluidi uniformemente sparsi, e neutralizzati a vicenda. Ma allorchè i due fluidi si separano appariscono le proprietà magnetiche, ed il corpo diventa una calamita.

I fluidi magnetici non possono passare nè da un corpo ad un altro, nè da una molecola alla vicina nel medesimo corpo.

Fa d'uopo inoltre ammettere le seguenti tre forze:

1.ª di attrazione tra ciascun fluido e la materia ponderabile;

2.ª di attrazione pure tra il fluido boreale e l'australe;

3.ª di ripulsione fra le molecole dello stesso fluido.

LIBRO OTTAVO

ELETTRICITÀ STATICA

INTRODUZIONE

29. Elettricità statica e dinamica. Talete filosofo di Mileto, il quale visse 600 anni prima della nostra Era, avea scoverto che l'ambra gialla strofinata acquistava virtù di attrarre i corpi leggieri, ed ei pensava che per tal modo si avvivasse. Dopo tre secoli Teofrasto nel suo trattato *de lapidibus* fa menzione anch'egli di tale potenza; e non altro. Ecco il solo fatto noto agli antichi, dal quale è derivato il nome di *elettrico* o di *elettricità* alla cagione d'innumerevoli fenomeni maravigliosi frutto di scoverte moderne, perchè l'ambra gialla in greco chiamasi ἤλεκτρον.

Il trattato dell'elettricità vien distinto in due parti, che si dicono *elettrostatica*, *elettrodinamica*. La *elettrostatica* studia i fenomeni dovuti all'elettrico in quiete o come dicesi di *tensione*: sono essi massimamente l'attrazione de'corpi leggieri, la ripulsione, una produzione di luce, un'azione convellente sugli animali.

La *elettrodinamica* considera la elettricità in movimento o allo stato di *corrente*. I corpi, pe' quali essa circola, si attraggono o si respingono, si scaldano, si scompongono: essa cagiona pure speciali fenomeni luminosi, e tutti gli effetti del magnetismo.

Veramente di queste due categorie di fatti un solo è l'agente; i secondi si rannodano strettamente ai primi, ed è facile il passaggio da questi a quelli. Ma per istudiarli pienamente e per vedere il legame che passa fra essi è necessario esporli separatamente.

FENOMENI GENERALI

30. Corpi idioelettrici e anelettrici. Guglielmo Gilbert nato a Colchester e medico a Londra scovrì sulla fine del secolo

XVI, che non la sola ambra, ma parecchi altri corpi com'essa acquistano con lo stropicciamento la virtù di attrarre i corpiccinoli leggieri. Molti altri fisici ne ampliarono anche più il numero, e sovrattutto gli accademici del Cimento. Questi posero l'ambra in primo luogo, quindi il diamante, lo zaffiro, il topazio, e tutte le gioie trasparenti, i vetri, i cristalli, l'ambra bianca e la nera, ecc. Infatti si tenga in mano, come quelli operarono, uno di tali corpi, e strofinatolo con un panno si avvicini a de' briccioli di sughero, a pezzettini di carta, a una pallina di midollo di sambuco, a barbe di penna, a leggerissime piume, a un fiocco di cotone; tutti questi saltando incontro a quello o ergendosi indicheranno di esserne attratti.

Molti altri corpi invece, e sovrattutto i metalli, saggiati a quel modo non diedero mai segno di esercitare azione attrattiva. Per ciò Desaguliers nel 1738 chiamò *idioelettrici* i primi, che vuol dire *elettrici per se*, ed i secondi *anelettrici*, cioè *non elettrici*.

Reca veramente sorpresa come siasi introdotta questa denominazione, e ritenuta sin oggi, mentre già nel 1727 la scoverta dell'inglese Gray avrebbe dovuto dimostrare essere mal fondata quella distinzione.

31. **Corpi conduttori e corpi coibenti.** L'ambra, le resine, il vetro e tutte le sostanze *idioelettriche* stropicciate attraggono i corpi leggieri solamente in quelle parti che àn sofferto lo strofinio; i metalli e tutt'i corpi *anelettrici* acquistano anch'essi quella virtù, e la comunicano altresì alle parti lontane. Gray elettrizzava con lo stropiccìo un tubo di vetro chiuso con sughero, al quale era legata una corda di canape lunga 765 piedi inglesi: ei vedeva il sughero e la corda sino all' estremo presentare i fenomeni di attrazione. La corda era tesa orizzontalmente e sostenuta da nastri di seta pendenti dal soffitto. Ma ogni fenomeno spariva allorchè ai nastri di seta sostituiva de' fili metallici.

Di qui consegue che il sughero, la canape, i fili metallici ànno virtù di trasmettere la forza elettrica, non così la seta. Perciò i primi furono detti corpi *conduttori*, a differenza degli altri che furono chiamati *isolanti*—Similmente i conduttori permettono il dissipamento dell'elettrico, gl'isolanti l'impediscono; d'onde Franklin diè nome di *deferenti* ai primi, di *coibenti* a' secondi.

Veramente le prime scoverte, che dovevano condurre ad ammettere questa distinzione, sono degli Accademici del Cimento: i

quali videro che se il corpo strofinato si bagna con acqua,soluzioni acide o saline, oli essenziali, ecc. ogni attrazione sparisce; non così se venga toccato con oli grassi, sego, lardo e simili.

Estendendo le ricerche si seppe che tutt'i corpi idioelettrici sono anche coibenti o isolanti, e tutti gli anelettrici sono pure conduttori o deferenti. E con ciò nella virtù conduttrice si trovò la vera cagione del non mostrarsi elettrizzati i metalli, e somiglianti corpi, quando si stropicciano mentre sono impugnati immediatamente con la mano. Imperocchè il corpo dell' uomo è abbastanza conduttore, come qualunque sostanza animale umida ; e per esso si dissipa nel suolo l'elettrico, che anco ne' conduttori si va svolgendo con lo strofinio. Nulla di somigliante avviene quando si elettrizza un coibente. Per converso si riesce ad elettrizzare un cannello metallico, purchè sia impugnato per un manico di sostanza coibente, ad esempio di vetro o di resina : si dice allora che il conduttore è *isolato*, e 'l manico coibente si chiama *isolatore*. Se un conduttore elettrizzato ne tocca un secondo, gli comunica una parte della sua elettricità tanto maggiore quanto più sono estese le dimensioni di questo : e però se tocca il suolo gliela cederà tutta per la estensione relativamente immensa della superficie terrestre. Per questa ragione la terra dicesi il *serbatoio universale* dell'elettrico, o meglio perchè da essa parte, e ad essa ritorna tutta l'elettricità che ci si rende sensibile ne' corpi.

I migliori conduttori sono i metalli ed i carboni. Gl'isolanti più perfetti sono la gomma lacca, l'ambra gialla, le resine, lo zolfo, la seta, il vetro, i peli degli animali, l'aria secchissima. Coulomb conservò per molti anni sott' acqua delle bolle esilissime di vetro elettrizzate nell'interno, e chiuse poscia ermeticamente. Tutti gli altri corpi di natura sono tra quei due estremi: si dicono *conduttori imperfetti* quelli che più si avvicinano ai primi, *semicoibenti* quelli che più partecipano de' secondi.

Condizioni che influiscono sulla virtù conduttrice. Non pure la natura de' corpi, ma anche diverse altre cagioni sono atte a cangiare o modificare il potere isolante o conduttore. Enumeriamo quì le principali;

1. *La costituzione chimica e fisica.* Ogni alterazione nella composizione d'un corpo o nella maniera d' aggregazione delle molecole ne varia il potere conduttore o isolante. Ne danno esempio i vetri a differente base o a vario grado di cottura.

2. *La temperatura.* Il ghiaccio a — 25° è un perfetto isolante, non così presso a 0°. Similmente il vetro perde di virtù isolante coll'aumento di temperatura.

3. *Lo stato igrometrico.* La presenza dell'umidità, che o penetra un corpo o si deposita sulla sua superficie, da isolante il cangia in conduttore. Così il legno umido conduce bene, assai male se disseccato; e vien sottratto per sempre all'influenza dell'umidità con bollirlo nell'olio o in altra materia coibente.

Affinchè sul vetro non si deponga lo strato di umido, si spalma d'uno strato sottile di vernice di gomma lacca.

L'aria umida conduce più o men bene l'elettrico. Per questa ragioue non è possibile eseguire sperienze di elettrostatica ne'tempi piovosi, non perchè non si svolga elettrico, come impropriamente suol dirsi, ma perchè l'aria il rapisce in quel che si sviluppa.

32. **Ripulsione elettrica.** Ottone da Guericke scoprì che il solfo elettrizzato dapprima attrae una piuma, e dopo che questa lo à toccato la respigne. Ei riferisce con meraviglia che una piuma svolazzante compì il giro d'una stanza col solo spignerla e sostenerla mediante questa ripulsione. Poi si vide che il fatto era generale, e fu tradotto nella seguente legge:

Ogni corpo elettrizzato dapprima attrae i corpicciuoli leggieri, e dopo il contatto li respinge.

Per dimostrarla si fa uso del così detto *pendolo elettrico* (fig.33); il quale consiste in una pallina leggerissima di midollo di sambuco A sospesa con filo di seta E a un sostegno C. Se un qualunque cor-

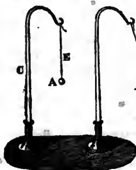


Fig. 33.



Fig. 34.

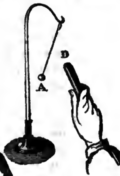


Fig. 35.

po elettrizzato D (fig. 34) sia isolante sia conduttore, si avvicini alla pallina A, questa ne sarà attratta, e toccatolo immediatamente dopo ne sarà respinta (fig. 35).

Questa ripulsione è scambievole. Infatti se più palline di midollo di sambuco sieno attaccate co' loro fili di seta al medesimo sostegno, saranno tutte attratte dallo stesso corpo elettrizzato, e poscia si scosteranno tutte e da quello e tra loro, avendone ricevuta elettricità immediatamente o mediatamente.

Inoltre se il corpicciuolo attratto vada a contatto col suolo, o comunque altrimenti si scarichi dell'elettrico acquistato, sarà attratto di nuovo per esserne respinto come prima; e queste alternative possono avere durata indefinita.

33. **Esperienze ed applicazioni.** Molte esperienze, e dei fatti interessanti ànno spiegazione nella esposta legge:

1. *Globo elettrico.* Parecchie listarelle di carta finissima sieno congiunte insieme agli estremi, e libere in tutto il resto di loro lunghezza. Se pongansi da un capo a contatto con un corpo elettrizzato, mutuamente respingendosi daranno al sistema una forma di globo o meglio di ellissoide.

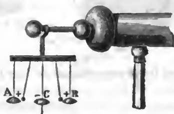


Fig. 36.

2. *Scampanio elettrico di Buffon.* Da una verga metallica orizzontale pendano tre campanine A, B, C (fig. 36): le due laterali A, B sono sospese con fili metallici; quella di mezzo C con filo di seta, ma comunichi inferiormente col suolo per mezzo di una catenella metallica. Inoltre tra le campane sieno sospese con fili di seta due palline metalliche. Applicato quest' ordigno a un conduttore elettrizzato, è chiaro che le due campanine A, B, elettrizzate anch'esse attrarranno le due palline; e poi le respingeranno sino a toccare la campana C. Con ciò perderanno la elettricità acquistata, e saranno novellamente attratte, e così di seguito.

3. *Grandine elettrica.* Sopra una base metallica (fig. 37) si collochino molte palline di midollo di sambuco, e si covrano con una campana di cristallo. Il collo di questa è traversato da una verga metallica, che finisce all'esterno con un anello, all'interno con un disco o con una palla. Allorchè l' anello si pone in contatto con un conduttore elettrizzato si vedran saltellare tumultuariamente le palline di sambuco; poichè queste prima attratte dal disco, e poi respinte, toccando il fondo si scaricano e sono attratte di nuovo.

Tale esperienza à acquistato celebrità col nome di *grandine elettrica*, poichè rende sensibile una ingegnosa ipotesi del Volta sulla formazione successiva della grandine, come poi sarà detto.

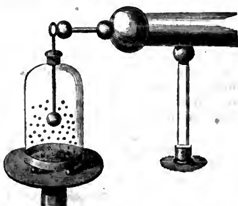


Fig. 37.

Si trasforma in altra di carattere meno serio, a cui si dà nome di *dansa elettrica*, se alle palline si sostituisce un fantoccio leggiero di sostanza conduttrice.

4. *Pioggia elettrica.* Anche le gocciole de' liquidi elettrizzati mutuamente si respingono. Abbiasi infatti una secchia metallica, al cui fondo sien praticati de' fori di esilissimo diametro così, che l'acqua solo goccia a goccia ne venga fuori a stento. Se però quella sospendasi a un conduttore elettrizzato, le gocciole saranno spruzzate con forza, nè più cadranno secondo la verticale ma in direzioni divergenti, come richiede la ripulsione scambievole.

Questa ripulsione vale a spiegare perchè un liquido, allorchè è elettrizzato, più rapidamente si dissecca per evaporazione.

31. **Due maniere di elettrizzamento.** Dufay intendente del giardino reale a Parigi nel 1733 scovrì che i vari corpi stropicciati si elettrizzano in due modi differenti.

Prendansi due pendoli elettrici, e due bacchette, l'una di vetro, l' altra di una resina qualunque. Si stropiccino entrambe separatamente con lo stesso pannolana, e poscia si avvicini il vetro a una pallina, la resina all'altra: ogni pallina prima è attratta, e poi respinta. Dopo ciò, se il vetro si appressa alla pallina elettrizzata dalla resina, vivamente l' attira; e similmente la resina attrae la pallina elettrizzata dal vetro; come pure le due palline si attraggono fra loro. Adunque le due sostanze vetro e resina esercitano azioni opposte, e però *si elettrizzano in due modi diversi*.

Sottoponiamo ora a somigliante ricerca una serie di corpi. Prepariamo dapprima due pendoli elettrizzando l'uno col vetro, l'altro con la resina. Poscia strofiniamo tutti quei corpi ugualmente con

un pannolana, e troveremo che alcuni di essi si comportano assolutamente come il vetro, ossia respingono la pallina elettrizzata dal vetro, e attraggono quella elettrizzata dalla resina: tali sono il diamante, la pelle di gatto, e simili. Altri per l'opposto agiscono come la resina: così lo zolfo e l'ambra gialla.

Da' quali fatti di necessità conseguita la seguente legge, che: *V'à due maniere di elettrizzamento; i corpi similmente elettrizzati si respingono, quelli diversamente elettrizzati si attraggono.*

35. **Ipotesi elettriche.** Tre sono le principali ipotesi imaginate da' fisici per rendere ragione de' fenomeni elettrici.

Ipotesi di Franklin. Beniamino Franklin nel 1744 ideò essere l'elettrico un fluido privo di peso sensibile inegualmente distribuito in tutti i corpi secondo la loro natura. Allorchè ciascuno ne à quella quantità che gli compete, si dice trovarsi *a stato naturale*, e non presenta fenomeni di attrazione o ripulsione; ma quando la copia dell'elettrico è maggiore o minore della quantità naturale, allora è elettrizzato, e *positivamente* o *negativamente*, o anche *in più* o *in meno*. I corpi elettrizzati come il vetro si reputano avere elettricità *positiva*, e *negativa* gli elettrizzati come la resina.

Perchè valga questa ipotesi alla spiegazione de'fatti si è trovato necessario ammettere le seguenti forze:

1. Una forza ripulsiva tra le particelle dell'elettrico.

2. Un'attrazione scambievole tra l'elettrico e'l corpo ponderabile che ne è privo.

3. Una forza ripulsiva tra le particelle della materia ponderabile prive di elettrico.

Ipotesi di Symmer. L'inglese Roberto Symmer nel 1759 imaginò avervi due fluidi elettrici: allorchè sono in un corpo in certa giusta proporzione, scambievolmente *si neutralizzano;* quello non mostra fenomeni elettrici, e dicesi essere a *stato naturale.* Allorchè un dei due predomina, il corpo diviene elettrizzato: la elettricità *vitrea* prevale nel vetro strofinato, la *resinosa* nelle resine. Queste due elettricità risentono le seguenti attrazioni e ripulsioni:

1. Si ripellono tra loro le particelle omogenee di ciascun de'due fluidi.

2. Le particelle del fluido vitreo e quelle del resinoso scambievolmente si attraggono.

Ipotesi d'Oersted. Oersted opina che i fenomeni elettrici non debbano attribuirsi ad alcun fluido speciale, ma sieno effetto delle sole

forze inerenti alla materia ponderabile eccitate ad agire in condizioni determinate.

Quest'ultima ipotesi non è stata finora applicata abbastanza. In quanto alle altre due, la prima fu adottata da Beccaria, Epino, Cavendish, Cavallo, Volta, e da quasi tutt'i fisici italiani: la seconda da Coulomb, da Poisson e da tutta la scuola francese.

Entrambe si prestano del pari alla spiegazione de'fenomeni, e noi ne adotteremo il linguaggio solamente per essere più brevi, e più ordinati nello esporli. Ma non daremo loro altro peso che di semplici ipotesi, senza alcuna precedenza d'una sull'altra, tranne la evidente maggiore semplicità che milita per la ipotesi italiana.

ELETTRICITÀ SVILUPPATA CON MEZZI MECCANICI. MACCHINE ELETTRICHE.

36. **Elettricità di strofinio.** Le azioni meccaniche sono potenti a svolgere elettrico, e tra queste in primo luogo lo strofinio, poi la pressione e 'l clivaggio.

In quanto allo strofinio, è importante dapprima osservare, che quando due corpi si stropicciano insieme, avvengono immancabilmente i fatti seguenti:

1.° I due corpi si elettrizzano sempre con elettricità contrarie; cioè l'uno con elettricità positiva o vitrea, l'altro con elettricità negativa o resinosa.

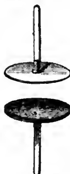
2.° Se i due corpi dopo lo strofinio restano o si rimettono a contatto, ritornano a stato naturale.

3.° Medesimamente spariscono i fenomeni elettrici, se ciascun d'essi si pone a contatto con altro corpo diverso da quello col quale soffrì strofinio, ma elettrizzato pure in contrario modo.

Per osservare questi fenomeni, si preparino due pendoli isolati e carichi di elettricità contrarie; poscia si stropiccino per esempio due bastoni, l'uno di vetro, l'altro di resina, o due dischi di sostanza qualunque (fig. 38) muniti entrambi di manico isolante; e strofinatili insieme si appressino ora ad un pendolo ora all'altro.

Inoltre è agevole rendersi ragione di ciò che succede così operando valendosi o dell'ipotesi di Franklin o di quella di Symmer. Secondo la prima la resina divien negativa, il vetro positivo, perchè quella cede il suo elettrico naturale al secondo, e 'l riprende

se a lungo restano a contatto. Nella seconda si compone il fluido neutro di ambo i corpi: la resina cede in copia maggiore o minore la elettricità vitrea al vetro, e prende da esso la resinosa; con che in ciascuna sostauza si trova un eccesso libero di uno de' due fluidi.


Fig. 38.

Nè solo tra corpi solidi agisce lo strofinio, ma purancoquale che sia il loro stato fisico. Così una bacchetta di ceralacca o di vetro si elettrizza immergendola nel mercurio; e 'l mercurio stesso esce elettrizzato allorchè si filtra attraverso una pelle di camoscio; e una stoffa di seta presenta fenomeni elettrici se è agitata nell'aria; e si elettrizza pure un piano resinoso, contro cui si spinge con soffietto una corrente d'aria. All' elettricità di stropicciamento bisogna del pari attribuire quella luce fosforica, che si osserva al buio nel vuoto barometrico ben purgato d'aria, quando s'inclina il tubo, e 'l mercurio ne va ad urtare con colpo secco la estremità chiusa. Il *tubo fosforescente* (fig. 39) è destinato a produrre a piacere e più intensa questa luce: è un cannello di cristallo a superficie ondulata vuoto d'aria, con eutrovi alquanto di mercurio ben puro: si osserva il fenomeno agitandolo nell'oscurità.


Fig. 39.

37. Cagioni influenti sulla specie di elettricità. Sono molte le cagioni che influiscono in far che i corpi prendauo con lo strofinio una elettricità piuttosto che l'altra: sembra però che possano ridursi a due, alla natura cioè de' corpi stessi, e alla temperatura.

1. *Natura de' singoli corpi.* Contribuisce massimamente la natura stessa de' due corpi perchè uuo si elettrizzi positivamente con lo strofinio, l'altro negativamente. È però da notare, che in ciò niente v'è di assoluto, e tutto è relativo alla natura di entrambi in tanto, che un medesimo corpo si elettrizza ora in più ora in meno, secondo che varia l'altro. Iu questo elenco di Cavallo, ogni sostanza si elettrizza negativamente con quelle che seguono, positivamente con quelle che precedono:

Zolfo	Piume
Vetro spolito	Stoffa di lana
Gomma lacca	Vetro liscio
Seta	Pelle di lepre
Carta comune	Diamante
Legno	Dorso di gatto vivo.

D'onde appare che non vi sono relazioni tra la natura *generica* o le proprietà de' corpi, e la specie di elettricità. Solo possiam dire che i resinosi prendono elettricità negativa stropicciati con tutti gli altri; e che i metalli e le loro amalgame ànno tendenza alla elettricità positiva; ma i loro ossidi o solfuri sono negativi stropicciati con quelli. Da ultimo si elettrizzano a preferenza positivamente i corpi somigliauti al vetro per le loro proprietà, e quelli che ànno maggiore durezza.

2. *Temperatura.* Strofinando due corpi della medesima natura i segni elettrici sono nulli, o scarsi; ma *se l'un d'essi previamente si scalda prende elettricità negativa, e l'altro positiva.*

Ciò si osserva bene con due bastoni di ceralàcca, o nudi o rivestiti entrambi d'una stessa qualità di seta o di lana. Anzi tale influenza opera altresì su corpi di natura diversa sino a invertire talvolta la specie di elettricità, ch'essi prenderebbero.

Anche alla temperatura sembra che possano ridursi le modificazioni nella specie di elettrico, che dipendono dallo stato della superficie, e dal modo di strofinio, con questa legge:

Il corpo che si scalda maggiormente nell'atto dello strofinio si elettrizza in meno, il compagno in più.

Così di due corpi aventi l'uno la superficie scabra, l'altro liscia, il primo prende elettricità negativa, il secondo positiva. Similmente se le stesse parti d'un corpo scorrono per tutta la superficie d'un altro, quello si elettrizza in meno, questo in più: ad esempio facendo strisciare una porzione d' un nastro di seta in croce per la intera lunghezza d'un simile nastro teso. Dicasi altrettanto dell'elettricità che si svolge facendo scorrere una polvere metallica sovra una lamina: se sono entrambe della medesima natura si trova in generale negativa la polvere, positiva la lamina. Probabilmente lo stesso è del colore; una stoffa di seta o di lana nera si elettrizza in meno strofinata con una bianca: forse per un'asprezza speciale della materia colorante; poichè le medesime stoffe bianche imbevute di soluzione di galla acquistano puranco elettricità negativa.

Non sembra essere il medesimo de' nuovi ed eleganti fenomeni, de'quali à arricchito recentemente (1858-59) la scienza il ch. Paolo Volpicelli. Il professore di Roma à scoperto che le resine, il vetro, e gli altri coibenti strofinati con un medesimo corpo talvolta prendono elettricità positiva, tale altra la negativa; ossia manifestano una *polarità elettrostatica successiva*, com'ei l'à detta. Anzi in certe condizioni presentano *la polarità simultanea*, cioè opposte elettricità nelle due metà con una sezione neutra. Un attrito relativamente forte svolge elettricità negativa, un attrito debole la positiva; e ciò *senza influenza delle variazioni di temperatura*. Per che egli è condotto ad ammettere, che i due stati elettrici in un corpo sieno riposti nell'ampiezza delle vibrazioni, maggiore pel negativo, minore pel positivo, rispetto all'ampiezza delle vibrazioni corrispondenti allo stato di elettricità naturale.

38. **Macchine elettriche; cenno storico.** Dello strofinio si fa uso per isvolgere l' elettrico in copia, e si dà nome di *macchine elettriche* agli ordigni a ciò destinati (*). La prima idea di una macchina elettrica nel 1670 fu di quel medesimo Ottone de Guerike che inventò la macchina pneumatica: essa consisteva in un globo di solfo A (fig. 40), che mentre girava per mezzo del manubrio B si faceva stropicciare contro la mano. Hawkesbee sostituì un globo di vetro a quello di solfo. Il P.Gordon benedettino e professore a Erford impiegò i cilindri di vetro invece de' globi. Poscia furono introdotti i dischi nel 1755 dal grigione Martino Planta, e nell'anno seguente dal francese Sigand de la Fonde. Ramsden a Londra nel 1766 diè alle macchine di questa natura forma e perfezione migliore. Il primo conduttore fu ideato nel 1741 da Boze professore di Fisica a Wurtemberg, e consisteva in un cilindro di latta sospeso a cordoni di seta; e alla medesima epoca il Winkler sostituì per lo stropiccio i cuscinetti alla mano. In seguito altre modificazioni ànno

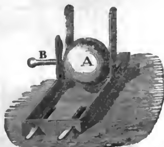


Fig. 40.

(*) Veramente seguendo l'ordine delle teorie non sarebbe stato questo il luogo di trattare delle macchine elettriche, sibbene dopo di aver discorso della induzione. Ma abbiam voluto evitare l'inconveniente di essere costretti ad usare nelle esperienze macchine assolutamente ignote.

portato le macchine elettriche al perfezionamento attuale; la ragione di tutte si vedrà nelle teorie che in appresso andremo esponendo.

Le macchine elettriche si distinguono in due grandi classi: le une rendono sensibile un solo stato elettrico: le altre manifestano insieme le due elettricità: descriviamo le principali.

39. **Macchina elettrica a un solo fluido o di Ramsden.** Si compone di due parti distinte, cioè d' un apparecchio che svolge l'elettrico, e d'un apparecchio che il raccoglie.

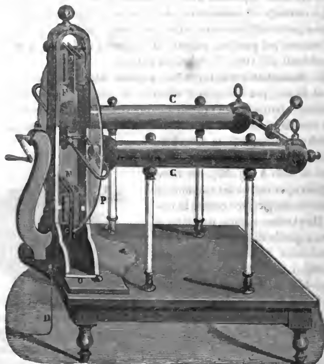


Fig. 41.

L'apparecchio produttore consiste in un disco di cristallo P, il quale per mezzo di un asse impiantato al suo centro e d'un manubrio si gira in un piano verticale, e si strofina contro quattro cuscinetti F, F, situati due da ciascun lato. L'asse del disco è sostenuto da un montante di legno, al quale son raccomandati nell'alto e nel basso i cuscinetti. Questi sono di pelle e si riempiono di

crini per operare nna giusta pressione ed accrescere i punti di contatto col disco. Talvolta si sostituiscono a' cuscinetti de' pezzi di legno rettangolari a superficie piana ricoperti prima di cuoio, poi d'una foglia di stagno, e in ultimo d'uno strato di seta verniciata; questa si strofina immediatamente col disco, e però si fa sporgere nel senso della rotazione, com'è nella figura in *a*, e *c*, per ampliare la superficie strofinante.

Si usa con vantaggio spalmare la superficie de' cuscinetti con *oro musivo*, che è un deutosolfuro di stagno , o pure con diverse amalgame, tra le quali si preferisce qnella di zinco.

L'apparecchio collettore è formato di uno o di due cilindri metallici C, C, paralleli l'uno all'altro e sostenuti in posizione orizzontale perpendicolarmente al piano del disco da colonne isolanti , cioè di cristallo ricoverto di vernice alla gommalacca. Qnesti *conduttori* finiscono verso il disco in due appendici metalliche, dette *pettini* ; sono formati da un tubo piegato a ferro di cavallo guernito di punte internamente, le quali si appressano al disco da ambo i lati senza toccarlo. Dall'altro capo i conduttori terminano con due mezze sfere, si congiungono insieme, ed è loro annesso nn anello per sospendervi gli ordigni necessarî alle diverse esperienze.

In quanto alla maniera di porre la macchina in azione e sul come si carichi ci basterà sapere per ora, che per effetto dello strofinio il vetro si elettrizza positivamente, i cuscinetti negativamente: ossia questi cedono al vetro la loro elettricità naturale, la quale , allorchè le parti strofinate del disco si appressano ai pettini , passa per le pnnte nel conduttore e vi si accumula. Ma ben presto cesserebbe lo svolgimento dell' elettrico, se i cnscinetti non avesserò come riprendere l'elettrico comunicato al disco: per ciò è indispensabile che sieno in perfetta comunicazione col suolo. Ciò si consegue mettendo in contatto fra loro i cuscinetti con una striscia sottile di stagno *ooo*, che parte da ciascun d'essi e gira tutt'intorno al montante, e va poi a terminare con una catenella nel suolo. Trattando della induzione spiegheremo altrimenti questi fatti.

Per impedire che il contatto dell'aria sottragga elettrico alle parti strofinate del disco innanzi che queste pervengano ai pettini dopo un quarto di rotazione, si usa nn doppio artifizio. Si ricovrono di dne settori di taffettà le porzioni del disco, che s'interpongono tra i cuscinetti ed i pettini secondo il verso della rotazione; o pure si rendono mobili i pettini intorno l'asse di rotazione del disco,

e si appressano al cuscinetto corrispondente per incontrare innanzi tempo gli elementi strofinati.

Si può anche ottenere da questa macchina la elettricità negativa. S' isola tutta intera la tavola che la sostiene poggiandola su quattro tronchi di colonna di vetro o di resina, e si fa comunicare col suolo il conduttore. Allora è chiaro che i conduttori scaricandosi nel suolo della elettricità, che ricevono dal disco, saranno sempre a stato naturale, ed i cuscinetti insieme col montante e con la tavola perchè isolati si elettrizzeranno negativamente.

40. **Macchine alle due elettricità.** Colla macchina descritta non si ànno che i segni d'una sola elettricità, o positiva o negativa. Con quella dell' inglese Nairne (fig. 42) si possono rac-

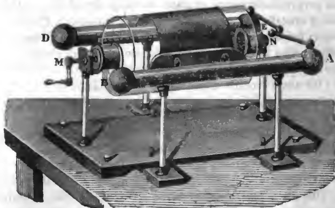


Fig. 42.

cogliere entrambe insieme. È un grande cilindro di vetro mobile intorno al suo asse orizzontale MN, sorretto da colonne isolanti: da un lato e dall'altro son disposti due conduttori BA, DE isolati anch'essi; il primo de' quali è munito d'un cuscinetto strofinante, il secondo d'un pettine, entrambi quasi della medesima lunghezza che il cilindro di vetro. Con ciò si fa chiaro che il conduttore BA perchè a contatto del cuscinetto verrà ad elettrizzarsi in meno, e il conduttore DE sarà elettrizzato in più, poichè raccoglie la elettricità del vetro. Anche quì per impedire il dissipamento dell' elettrico si fissa al cuscinetto un pezzo di taffettà che si distende insino al pettine.

Le elettricità simultanee, che si raccolgono in questa macchina, sono più deboli che nella precedente: essa però si riduce alla

condizione dell'altra se un de'due conduttori si fa comunicare col suolo per mezzo d' una catenella: poichè allora si raccoglie solamente la elettricità sul conduttore isolato.

41. Macchina di Van Marum. Molto più comodamente si ottiene una qualunque delle due elettricità per mezzo della macchina ideata da Van Marum di Harlem (fig. 43, 44). Il disco P si

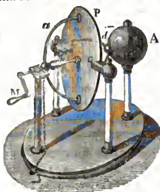


Fig. 43.

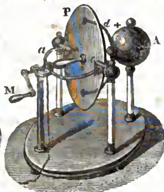


Fig. 44.

gira mediante il manubrio M, ma l'asse di rotazione è molto allungato. Quattro cuscinetti *c*, *c*, due per ogni lato, abbracciano in mezzo il disco, e sono isolati su colonne di cristallo; si può torre però a piacere l'isolamento per mezzo dell'arco metallico *a* armato di catenella comunicante col suolo, il quale compiendo un quarto di rotazione può passare dal piano verticale (fig. 43) nell' orizzontale (fig. 44) e toccare i cuscinetti. Finalmente dall'altro lato del disco v'è un conduttore sferico A isolato anch'esso e munito d'un arco metallico *d*, il quale può girarsi, e o disporsi nel piano do' cuscinetti (fig. 43), o scostarsene d'un intero quadrante (fig. 44).

Supponiamo ora che siasi data alla macchina la disposizione della fig. 43; l'arco *d* tocca i cuscinetti, l'arco *a* ne è discosto ma comunica col suolo; è chiaro che in questo caso il conduttore A prende l' elettricità negativa de'cuscinetti, mentre la positiva del disco si scarica nel suolo. Se per l'opposto si sceglie la disposizione della fig. 44, il conduttore A raccoglie la elettricità positiva del disco, mentre i cuscinetti comunicanti col suolo per mezzo dell'arco *a* e della catenella ritornano perennemente a stato naturale.

Di questo genere è la più grande macchina elettrica che esiste in Napoli da me diretta, ed è nel gabinetto della scuola degl'ingegneri del Genio Civile. Sono due i dischi , ciascuno del diame-

tro di $1^m,40$ volgentisi insieme intorno al medesimo asse, e si strofinano fra 4 paia di cuscini, il cui montante è isolato. Anche gli otto pettini sono isolati, ed indipendenti dal conduttore. Ma si può a piacere stabilire la comunicazione del conduttore o co'pettini, o co'cuscinetti, per raccorre o l'elettricità positiva o la negativa.

Essa è analoga in qualche modo alla macchina *mostro* costruita nel 1785 da Van Marum e Cuthbertson e collocata nel museo Teyler a Harlem, i cui dischi ànno diametro di $1^m,825$: richiede due o quattro uomini per metterla in attività: ma la potenza è enorme a segno, che una sola scintilla fonde una foglia d'oro, e l'attrazione perviene alla distanza di 12 metri.

42. **Macchina idroelettrica.** Un fenomeno avvenuto a caso, ma debitamente studiato, à suggerito la idea di una nuova macchina, che svolge le due elettricità per lo stropicciamento d'un solido con un liquido. In una officina di Sighill nelle vicinanze di Newcastle nel 1840 un meccanico nell' atto di riparare il guasto avvenuto alla valvola di sicurezza di una caldaia a vapore fissa in attività, vide delle scintille e provò valide commozioni ogni volta che, mentre una mano toccava il metallo, l'altro era immersa nel vapore, che ne veniva fuori. Non vi bisognò altro per accorgersi che gli effetti erano dovuti a svolgimento di elettrico, il quale rimaneva sulla caldaia perchè mediocremente isolata sopra mattoni bruciati e secchissimi : e tosto Armstrong trasformò la caldaia a vapore in una macchina elettrica che porta il suo nome (fig. 45). È una caldaia ad alta pressione, munita della sua valvola di sicurezza S, e del tubo di livello O, ed isolata su quattro valide colonne di cristallo. Nell'alto di essa v'è un tubo a chiave C, che dà uscita al vapore; il quale va ad investire le punte del pettine P comunicante col conduttore D isolato anch' esso sopra colonna di cristallo. La caldaia si elettrizza negativamente, ed il vapore, o che vale il medesimo, il conduttore D positivamente.

Per iscoprire l'origine di questo sviluppo d'elettricità, Armstrong sperimentò nel seguente modo. Isolò la chiave metallica C dalla caldaia per mezzo d'un tubo di cristallo , e si avvide che essendo chiusa la chiave, ogni parte della macchina rimaneva a stato naturale : quando poi con aprir la chiave dava uscita al vapore , allora il vapore diveniva positivo, la chiave negativa; ma la caldaia rimaneva costantemente a stato naturale. Adunque il passaggio stesso del vapore per la chiave , e non già la trasformazione del-

l'acqua in vapore nella caldaia sviluppa l'elettrico. Inoltre Faraday osservò, che mancava pure ogni fenomeno quando egli scaldava forte il tubo d'uscita a segno, che il vapore venisse fuora perfettamente secco; e per converso la elettricità era abbondante allorchè egli obbligava il vapore a passare pria di dissiparsi nell'aria per una scattola contenente della stoppa bagnata, con che esso in parte si trasforma in gocce liquide. È forza dunque inferire che queste gocce liquide propriamente, e non il vapore stesso, si elettrizzano traversando il tubo di uscita.

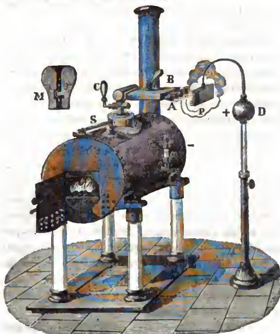


Fig. 45.

Dippiù è importante conoscere i fatti seguenti. Accrescendo tutte le condizioni, da cui dipende un maggiore stropicciamento, si à più forte sviluppo di elettrico: sovrattutto se più estesa è la superficie stropicciata, e più alta la tensione del vapore. Se l'acqua della caldaia è distillata si à massimo effetto: alquanto minore se è potabile, fino a divenire nulla quando la copia delle sostanze sciolte giunge a un certo grado. Ma se invece di sostanze conduttrici nell'acqua si pongano delle essenze, degli oli, e de' corpi grassi, i segni elettrici s'invertono, e la caldaia si elettrizza positiva-

mente, il vapore negativamente. À pure influenza la natura del corpo col quale il vapore si strofina; poichè Faraday scovrì essere inerte l'avorio, attivissimi i metalli in generale, e innanzi a tutt' i corpi il legno di bosso.

Per tutte queste ragioni nella macchina d' Armstrong il vapore, che esce dalla caldaia, si fa passare per un sistema di tubi a cammino tortuoso rivestiti internamente di bosso A, M, i quali sono racchiusi in un refrigerante o condensatore B con acqua fredda per ottenere la trasformazione del vapore in gocce liquide.

La macchina idroelettrica, che io diressi nel R. opificio di Petrarsa, è delle più grandi, e delle più potenti in questo genere. Con tre metri quadrati di superficie à tale forza che se la prima di dodici persone tenentisi per mano ne trae una scintilla, tutta la serie, comecchè non isolata, riceve intollerabile convellimento.

43. **Elettricità di pressione.** Epino fu il primo a scovrire che la pressione sia pure una cagione meccanica di svolgimento d'elettrico: egli premeva fra loro due lastre di vetro, e separatele, avendo cura di evitare ogni confricazione, le trovava elettrizzate. Ma Libes ne diè dimostrazione rigorosa: imperocchè osservò che un disco metallico, per esempio di argento, di ottone, o di rame, il quale si elettrizza positivamente allorchè si stropiccia con uno strato di taffettà verniciato, prende invece elettricità negativa se venga semplicemente premuto contr'esso senza stropicciamento.

Hauy si avvide che lo spato d' Islanda si elettrizza per la sola pressione delle dita, e costantemente con elettricità positiva, e che è capace conservarla per molti giorni. Proprietà somigliante egli scoprì in parecchi altri minerali.

Da ultimo Becquerel à formolato ne' seguenti teoremi ciò che riguarda la elettricità di pressione:

1.° Tutt'i corpi di natura diversa sieno isolanti sieno conduttori, purchè isolati, si trovano carichi di elettricità contrarie, se premuti l'uno contro l'altro vengano poi rapidamente separati.

2.° La specie della elettricità, che prende ciascuno de' due corpi, dipende dalla natura di entrambi: anche quì il calore favorisce lo svolgimento dell'elettricità negativa.

3.° La quantità di elettrico, che si produce, è nella ragione composta della pressione, a cui si sottopongono i due corpi, e della rapidità con la quale vengono separati. Questa legge fu dimostrata tra i limiti di pressione da un chilogrammo a dieci.

4.° I segni elettrici durano tanto più lungamente quanto è minore la virtù conduttrice.

44. Elettricità di sfogliamento o di clivaggio. Anche lo sfogliamento o la separazione delle lamine di clivaggio esistenti ne' cristalli è un mezzo atto a svolgere elettricità. Per assicurarsene è necessario allontanare qualunque sospetto di elettricità di stropicciamento. A tal fine Becquerel attaccava alle due facce opposte d'un pezzo di mica laminare due manichi di gomma lacca, e distrattili con forza, appressava al pendolo elettrico le due lamine così separate, e le trovava cariche di elettricità contrarie.

In generale qualsivoglia separazione produce tale effetto, purchè le parti che si staccano abbiano superficie levigata; poco monta del resto sieno o pur no cristallizzate. Così non si svolge elettrico spezzando bruscamente un tubo di vetro o di gomma lacca; bensì staccando gli uni dagli altri più fogli di carta sovrapposti e bene asciutti. Similmente se fondonsi solfato di potassa o di rame in un crogiuolo, allorchè questi sali nel ritornare solidi si dividono in pezzi e si staccano dal crogiuolo mostransi fortemente carichi di elettricità positiva. Alla medesima cagione va attribuita la elettricità che presentano il solfo, il cioccolatte, l' acido borico, il protocloruro di mercurio, allorchè divenuti solidi dopo la fusione si staccano dallo stampo, in cui liquidi furono versati.

La luce fosforica, che in alcuno di questi fatti si osserva, come sfogliando la mica, o staccando un sale dopo la fusione, sarebbe un fenomeno elettrico. Anzi Becquerel si vale di questo modo di svolgimento d'elettrico per ispiegare la fosforescenza per calore: imperocchè elettrizzandosi le molecole cristalline per la sola dilatazione che accompagna il riscaldamento, allorchè poi cessa di agire la sorgente di calore, e le molecole ritornano al sito primiero, avviene tra esse una specie di scarica luminosa.

MISURA DELLE FORZE ELETTRICHE.

45. Elettroscopi ed elettrometri. Gl'istrumenti destinati a scovrire la sola presenza, o anche la specie di elettricità, si chiamano *elettroscopi*: se ne danno anche la misura diconsi *elettrometri*. Si compongono tutti di corpi leggerissimi, sospesi dilicatamente, e capaci di ubbidire alla minima impulsione; agiscono sul principio delle attrazioni o delle ripulsioni elettriche. Il pendolo elettrico ad esempio è un dilicato elettroscopio.

Gilbert si servì d'un mobilissimo ago di argento o di rame bilicato sovra un sostegno isolante. Dufay si valse d'un filo di canape a cavaliere sul conduttore. Canton sospese ai fili due palline di sughero. Tiberio Cavallo usò invece due capelli. Bennet adoperò due foglioline d'oro pendenti da un bottone metallico aggiustato al collo d'una bottiglia. Stanhope impiegò due fili di paglia paralleli e pendenti dal medesimo sostegno conduttore. Cavallo à renduto più sensibile il suo strumento facendo passare per ciascuna paglia un sottilissimo filo di argento terminante di sopra in un gancetto: i due gancetti sono mobilissimi entro un anello dell' istesso filo. Ellicot impiegò un elettroscopio fatto a bilancia. Ma niuno fra tanti strumenti meritava il titolo di elettrometro innanzi che Volta perfezionasse la elettrometria così, che ogni strumento fosse paragonabile con se medesimo e con gli altri. Descriviamo i principali tra essi, che ànno una costruzione speciale.

1. *Elettroscopio a fili o a palline*. La forma ordinaria degli elettroscopi è di una campana C (fig. 46) superiormente aperta, e sostenuta da una base B di legno o di metallo: al suo collo è aggiustato con gomma lacca un bottone A, dal quale pendono con fili metallici due palline *g*, *h*, di sughero o di sambuco, o due semplici paglie, o due laminette d'oro. La loro divergenza indicherà essere elettrizzato il corpo che tocca il bottone A. Quattro listarelle metalliche equidistanti tra loro *a*, *b*, *c*, *d*, sono incollate alla superficie interna della campana, e toccano il fondo: affinchè quando la ripulsione delle palline è considerevole si lancino contro quelle, e scaricandosi di loro elettricità ritornino a stato naturale. Inoltre per impedire la dispersione delle tenui cariche si covre di vernice a gomma lacca la porzione superiore *ee'* della campana.

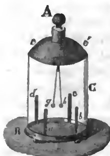


Fig. 46.

2. *Elettroscopio di Hauy*. Non è altro che un filo metallico AB (fig. 47) bilicato mediante un cappelletto sovra una punta. Ad uno degli estremi v' è una pinzetta, che stringe un romboedro di spato d'Islanda: all'al-

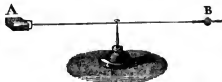


Fig. 47.

tro v'è un contropeso metallico, che portato a maggiore o minore distanza dall'ipomoclio tien sempre l'ago orizzontale. Elettrizzato in più con la pressione lo spato d'Islanda (43), l'istrumento è utilissimo a scovrire se un corpo è elettrizzato e di quale specie di elettricità.

3. *Elettroscopio di Coulomb.* Sul principio della elasticità di torsione è fondato l'elettroscopio di Coulomb, il quale si trasforma agevolmente in dilicato elettrometro. Si compone d'una campana APG (fig. 48) poggiata sopra una base HI, la quale con l'aiuto di viti calanti si mantiene orizzontale. Dal centro del coverchio BC con l'aiuto d'un bottone D pende un filo di seta *e*, che tien sospeso un ago leggerissimo di gomma lacca *ab*; ad un estremo di questo v'è un dischetto metallico *b*, all'altro un contropeso isolante *a*. Or egli è chiaro che dopo aver comunicato una certa elettricità al dischetto *b*, allorchè pel foro esistente nella campana s'introduce il corpo *ed* carico della medesima elettricità vi sarà ripulsione, e invece attrazione se è carico di contraria elettricità.

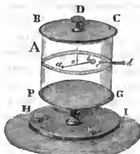


Fig. 48.

4. *Elettrometro a quadrante.* Fu inventato da W. Henley della società reale di Londra nel 1772. Esso consiste in un filo di paglia, avente a una estremità la pallina A (fig. 49) di midollo di sambuco o di sughero, e con l'altra estremità unito a cerniera nel centro di un semicerchio graduato, il cui diametro verticale coincide coll'asta metallica T. È chiaro che elettrizzatasi quest'asta poggiandola con la sua base o per mezzo di vite sul conduttore elettrizzato, essa respingerà la pallina A, la quale scorrerà lungo l'arco. Volta però si avvide che le deviazioni non erano proporzionali alle quantità di elettrico, e formò delle tavole per correggere l'andamento non regolare dell'elettrometro. Inoltre Giuseppe Belli avverte che per misurare lo stato elettrico d'un conduttore non deve già sovrapporsi ad esso, ma deve collocarsi così che il centro del semicerchio corrisponda nel prolungamento dell'asse del conduttore.

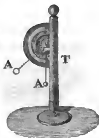


Fig. 49.

5. *Elettrometro di Cavendish.* È una ingegnosa trasformazione dell'elettroscopio a paglie. Si compone infatti di due paglie parallele e pendenti dal medesimo sostegno, intorno cui possono girare a cerniera; e sostengono due palline di sambuco. Si gravano inoltre queste palline di piccoli pesi conosciuti; e riesce facile calcolare con quale forza le paglie, considerate come due leve, tendono a ritornar verticali sotto l'azione della gravità, essendo o no gravate de' pesi aggiunti; questa forza pareggerà l'azione ripulsiva necessaria a produrre una data divergenza in ambo i casi.

6. *Elettrometro di Egen.* È una vera bilancia, con l'asta orizzontale per metà isolata: alla coppa da questo lato è sospesa una pallina di sughero, alla quale se ne avvicina una seconda carica della medesima o di contraria elettricità: i pesi, di cui si deve caricare l'altra coppa, misureranno le forze attrattive o ripulsive.

7. *Bilancia bifile.* W. snow Harris à dato tal nome ad un elettrometro da lui descritto nel 1836. Esso è formato da una leva o da un ago sostenuto con due fili di bozzolo paralleli e verticali attaccati a 6 millimetri di distanza l'uno dall'altro, e simmetricamente intorno al suo centro di gravità. È chiaro che l'ago è in equilibrio quando si trova nell'istesso piano verticale de' fili: ma allorchè una forza lo allontana da tale posizione, i fili girano per così dire l'uno sull'altro, e 'l centro di gravità dell'intero sistema si solleva. La gravità dunque agirà in senso inverso della forza elettrica attrattiva o ripulsiva; e ad essa è dovuta unicamente la reazione senza dipendenza da alcun principio d'elasticità.

8. *Elettroscopio di Peltier.* Ci basterà finalmente descrivere il nuovo strumento ideato da Peltier, detto *elettroscopio ad ago.* Esso è formato d'un leggerissimo ago metallico GABD cogli estremi rivolti in giù, al cui mezzo è congiunta una piccola calamita AB, e bilicato sopra un pernio. Il pernio poi è sorretto da un filo metallico che si protrae ad un bottone esterno e sostiene l'assicella metallica MN orizzontale, terminata da due palline, e mobile a mano intorno l'asse verticale che passa pel centro dell'ago. Tutto il sistema è isolato, e chiuso in campana di cristallo.

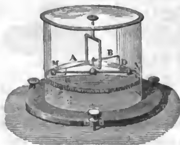


Fig. 50.

Si prepara l'esperienza col disporre la verga MN nel meridiano magnetico, nel quale naturalmente si adagia anche l'ago. Allorchè poi un corpo elettrizzato si pone a contatto del bottone esterno, l'ago mobile GABD e l'assicella MN prendendo la medesima elettricità si respingeranno a vicenda.

Quest'elettroscopio si cangia di leggieri in elettrometro potendosi misurare per un dato angolo di deviazione lo sforzo che esercita l'ago per tornare al meridiano.

46. Leggi delle attrazioni e delle ripulsioni elettriche. La intensità delle forze elettriche attrattive o ripulsive è dipendente dalla distanza e dalla quantità di elettrico.

1ª legge: *Le intensità delle ripulsioni e delle attrazioni elettriche tra due corpi elettrizzati sono nella ragione inversa de' quadrati delle distanze.*

Per dimostrarla Coulomb si valse della sua bilancia di torsione, la quale con tenui modificazioni è la medesima che la bilancia magnetica (15). L'ago sospeso BC (fig. 51) è di gomma lacca con all'estremo una pallina metallica leggiera B: pende esso da un filo metallico esilissimo senza torsione entro un tubo di cristallo, e nell'alto v' è pure il micrometro MM'SS'. Per l'apertura D al di sopra della campana s'introduce una pallina elettrizzata A munita di manico isolante all'altezza della pallina mobile. È indispensabile in tutte le esperienze disseccare l' aria della campana.

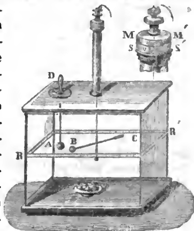


Fig. 51.

Coulomb dimostrò prima la legge per le ripulsioni determinando gli angoli di torsione, ch' era necessario dare al filo per ritenere la pallina mobile B a diverse distanze angolari dalla pallina fissa A, dopo aver caricato entrambe di elettricità omologhe.

Ci piace riferire il risultamento d' una sua esperienza. Essendo B a stato naturale di rincontro allo zero della scala RR', egli introdusse la pallina elettrizzata A. Tosto B fu attratta, ed elettriz-

zatasi anch'essa venne respinta, e si fermò a 36° di deviazione angolare. Adunque alla distanza di 36° la ripulsione elettrica fa equilibrio ad una torsione di 36°. Dopo ciò, incominciò a far girare il tamburo superiore MM' del micrometro in maniera da accrescere la torsione del filo. Allorchè il tamburo avea descritto un angolo di 126°, la distanza angolare delle due palline fu di 18°; ossia la ripulsione esercitata alla distanza di 18° faceva equilibrio a una torsione di 126°+18°, cioè a una torsione di 144°. E finalmente quando il tamburo avea fatto una rotazione di 567°, la distanza angolare fu di soli 9°; ossia la ripulsione alla distanza di 9° si equilibrava con una torsione di 567°+9°, cioè di 576°. Adunque se rimane costante la quantità della stessa specie di elettrico su due corpi, le cui distanze sono come gli angoli

$$36°,\ 18°,\ 9°,\ \text{ossia come } 1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4},$$

la ripulsione fra essi cresce come gli angoli di torsione

$$36°,\ 144°,\ 576°,\ \text{ossia come } 1 : 4 : 16.$$

Con lo stesso metodo si giunge pure a dimostrare la legge enunciata per le attrazioni. Girando il tamburo MM' si colloca la pallina B a determinata distanza dallo zero della scala RR'; poi si elettrizzano con elettricità contrarie le palline A e B, e per mezzo del tamburo MM' si torce il filo così da controbilanciare l'attrazione, che esse esercitano fra loro alle varie distanze.

Coulomb è pervenuto al medesimo risultamento applicando alla legge della distanza anche l' altro metodo di misurare la durata delle oscillazioni, come per la misura delle forze magnetiche.

2ª legge: *La intensità delle ripulsioni o delle attrazioni tra due corpi elettrizzati a una distanza invariabile è proporzionale al prodotto delle cariche elettriche di entrambi.*

Infatti Coulomb dopo aver comunicato la stessa specie di elettricità alle due palline A, B, e misurata la intensità della forza ripulsiva dall'angolo di torsione, e portata per un istante A a contatto con altra pallina della stessa natura e delle medesime dimensioni la rimetteva al suo posto nella bilancia. Così facendo veniva a ridurre a metà la quantità di elettrico di A (49,4); misurando poi la torsione necessaria all' equilibrio, vide che la ripulsione si era ridotta alla metà. Similmente tolta di nuovo una metà della elettricità residua in A, e ripetute le misure, trovò che la ripulsione era solamente una quarta parte della primitiva. Non altri-

menti operò caricando le due palline di elettricità opposte per dimostrare la medesima legge relativamente alle attrazioni (*).

DISTRIBUZIONE DELL'ELETTRICO NE' CORPI.

47. **In un conduttore elettrizzato l' elettricità va tutta alla superficie.** Primamente si può inferire a buon dritto che la sola superficie à influenza sullo stato elettrico d' un corpo, e non già gli strati interni nel seguente modo. Si comunichi la stessa quantità di elettrico a due sfere uguali: sieno esse della medesima o di varia natura, per esempio l' una di legno l' altra di metallo, purchè entrambe rivestite d'una foglia sottile identica, anzi ancorchè una d'esse sia piena, l'altra vuota, saranno ugualmente intensi i fenomeni di attrazione o di ripulsione elettrica. Ma convinciamoci di questo fatto importante con dimostrazioni dirette.

1. *Pozzo di Beccaria.* Si dà questo nome ad un' esperienza di Franklin ripetuta da Beccaria e da Volta. Essi isolavano un largo e profondo cilindro metallico, e dopo averlo elettrizzato v'introducevano sino a toccare il fondo una pallina metallica sostenuta da un filo di seta, che dicesi *secchia elettrica.* Estratta la pallina la trovarono mai sempre priva di elettrico: non così quando la mettevano a contatto con la superficie esterna. Si richiede che la pallina non tocchi l'orlo del cilindro, nè che molto vi si avvicini.

Identica è l'esperienza di Coulomb di toccare col suo *piano di prova c* (fig. 52), ossia con un dischetto metallico avente un manico di gomma lacca, ora la superficie interna ora la esterna di un globo metallico vuoto, a cui mancava un segmento.



Fig. 52.

(*) Se dunque rappresentino a, a' le azioni scambievoli di due corpi elettrizzati all'unità di distanza, l'azione totale fra essi attrattiva o ripulsiva alla distanza d sarà espressa da

$$\frac{aa'}{d^2}.$$

2. *Sfera a duplice involucro.* Coulomb elettrizzò pure una sfera metallica ed isolata (fig. 53); e poscia impugnati due emisferi me-

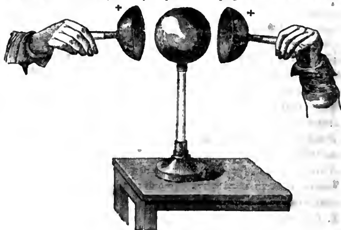


Fig. 53.

tallici vuoti aventi la stessa capacità interna di quella, glieli applicò sovra in modo da ricovrirla perfettamente, e dopo alquanto li staccò d' un colpo solo. Così operando si avvide che la sfera avea perduto ogni reazione elettrica, e che gli emisferi l'aveano acquistata.

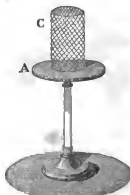


Fig. 54.

3. *Esperienze di Faraday.* A porre il fatto in maggiore evidenza valgono le due nuove esperienze del Faraday. Sopra una base isolata A (fig. 54) ei collocò un cilindro C formato d' una specie di rete o di tela metallica a maglie assai rare; poi elettrizzatolo ne saggiò la superficie esterna e la interna col piano di prova, e rinvenne sempre la prima elettrizzata, la seconda a stato naturale.

Similmente isolò un anello metallico verticale (fig. 55) a cui era congiunto un sacco conico di mussolina, e 'l mise a contatto con un corpo elettrizzato. Il piano di prova gli rivelò come prima che l'elettricità era tutta all'esterno. Anzi quante volte per mezzo d'un filo di seta legata al vertice del cono e sporgente a' due estrem rivoltò quel sacco, trovò che costantemente la superficie esterna era carica d'elettrico, e che la interna ne era priva.

48. **Strato elettrico, tensione, capacità, carica.** Stante che la elettricità libera di un corpo tutta risiede nella superficie, convien dire che quando quella si accresce per una cagione qualunque, avviene delle due cose l'una; o rimane la stessa la densità dello *strato elettrico*, e ne cresce la spessezza: o pure non cangia la spessezza dello strato, e se ne aumenta la densità. Nessuna esperienza può venire a risolvere tale quistione, e i risultamenti del calcolo favoriscono indifferentemente l'una e l'altra ipotesi. Noi dunque useremo senza distinzione quella che più ci piace delle due espressioni, *spessezza* o *densità* dello strato elettrico, per indicare la quantità di fluido, che in un dato istante si trova sopra un corpo o sopra un elemento di sua superficie. In quanto all'elettricità negativa questa espressione denoterà la grossezza dello strato della materia ponderabile priva di elettrico.

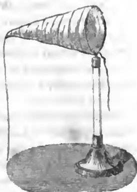


Fig. 55.

Misura della tensione. Inoltre per la ripulsione tra le molecole dello stesso fluido la elettricità tende a fuggire dalla superficie del corpo, e vi è trattenuta non già dalla pressione dell'aria, sibbene dalla sua virtù isolante. Tale sforzo dell'elettricità a spandersi nei corpi circostanti, o a dissiparsi nell'aria, o altrimenti siffatta tendenza all'equilibrio, vien detta *tensione elettrica.* Allorchè la tensione raggiunge un certo limite, l'elettrico supera quella resistenza del mezzo, e si lancia sù i corpi vicini. La tensione dunque vien misurata dalla intensità delle azioni attrattive e ripulsive esercitate da un corpo elettrizzato, e gli elettroscopi indicano, e gli elettrometri misurano la tensione. Inoltre affine di paragonare le forze elettriche non solo relativamente alla quantità, ma anche in dipendenza della natura o della specie della elettricità, ossia per esprimere il senso nel quale agisce la forza elettrica, chiameremo la tensione *positiva* o *negativa* secondo che la elettricità del corpo è essa medesima positiva o negativa.

Cagioni che fan variare la tensione. Una medesima quantità di elettrico non si manifesta sempre con uguale tensione; anzi sono molte le cagioni, per le quali questa si cangia, rimanendo costante la prima. Sembra che possano ridursi alle tre seguenti.

1.ª *Estensione della superficie.* È tanto minore la tensione quanto è più ampia la superficie del conduttore elettrizzato. Due esperienze il dimostrano ad evidenza. In primo luogo si abbia un sistema di tubi metallici entranti a capello uno nell' altro alla maniera de'tubi da cannocchiale: il maggiore è isolato, ed è munito di elettrometro: il minore à una impugnatura isolante. Or se mentre il sistema di tubi è contratto, gli si comunichi una quantità di elettrico, e si noti la tensione segnata dall'elettrometro , si vedrà che questa tensione per gradi diminuisce nell' atto che i tubi si vanno spiegando, e ritorna qual'era da principio nell' introdurre i tubi uno nell' altro.

Sia pure un cilindro metallico ed isolato , al quale si avvolga mediante manovella una lamina metallica sottile e pieghevole: elettrizzatolo si vedrà che diminuisce la tensione allorchè si svolge la lamina, e per l' opposto cresce nell' atto di avvolgerla.

2.ª *Figura del conduttore.* La influenza della forma sulla tensione riducesi a ciò , che ad uguaglianza di superficie la tensione è tanto minore, quanto più distano tra loro gli elementi superficiali. Infatti la tensione in una lamina rettangolare è minore che in una lamina quadrata; e la tensione d'un cilindro è minore che quella d'una sfera, e tanto più quanto sono maggiori le lunghezze della lamina e del cilindro.

3.ª *Disposizione relativa de'corpi componenti un medesimo sistema.* Finalmente la tensione di più conduttori a contatto è maggiore se sono collocati più d'accosto l' uno all' altro. Ciò si dimostra agevolmente disponendo una sfera metallica e parecchi cilindri in due modi diversi ; prima cioè così che la sfera sia nel centro, e i cilindri d'intorno a guisa di tanti raggi ; e poi la sfera da un lato e tutt' i cilindri per ordine co'loro assi in linea retta.

Alla medesima conseguenza ci conduce l'esperimento seguente di Franklin. Si sovrapponga all' elettroscopio ordinario una scodella metallica elettrizzata con entro una lunga catenella pure di metallo: se per mezzo di un cordone di seta si trae fuori man mano la catenella, si vedrà diminuire la divergenza nell' elettroscopio, e crescere di nuovo rimettendo la catenella al suo posto.

Valore della carica. Dalle cose esposte s'inferisce , che i corpi non sono ugualmente atti a contenere l' elettrico ; anzi neanche un medesimo corpo secondo che è variamente collocato rispetto agli altri.

Or cotesta *diversa attitudine de' corpi a contenere l' elettrico* è ciò che si chiama *capacità de'corpi per l'elettrico.*

La capacità è in ragione inversa della tensione; ossia tanto meno atto è un corpo a contenere l' elettrico, quanto maggiore sforzo da questo si esercita per fuggirne; e quindi *la carica totale è nella ragione composta della tensione e della capacità.*

Di qui l'uffizio de' *conduttori secondarî* del Volta nelle macchine elettriche. Sostituendo ad un conduttore sferico un conduttore cilindrico, o pure ad un cilindro corto uno o più altri lunghi e sottili, si accresce la capacità del sistema, diminuendone la tensione; e si può accumulare carica più intensa.

49. **Distribuzione dell'elettrico ne'diversi elementi d' una superficie conduttrice.** Le sperienze di Coulomb ed il calcolo di Poisson si accordano nella maniera di disposizione, che prende l'elettrico ne' diversi elementi superficiali di un conduttore elettrizzato; e ci rilevano ch' essa dipende dalla figura del conduttore. Coulomb poneva a contatto il suo piano di prova successivamente coi diversi punti della superficie elettrizzata; quello si elettrizzava ogni volta in tutto come l'elemento superficiale toccato: poscia il saggiava nella bilancia di torsione. È vero che nel distacco la elettricità, che il piano di prova sottrae all'elemento superficiale, si distribuisce nelle sue due superficie superiore e inferiore, e però la tensione si riduce alla metà; ma ciò non altera il risultamento finale, che deve esprimere le tensioni relative, non le assolute.


Fig. 56.

Ecco alquante conseguenze, a cui Coulomb è pervenuto:

1. *Sfera.* Per una superficie sferica lo strato elettrico à da per tutto una costante spessezza; nè può essere altrimenti a motivo della perfetta simmetria per ogni verso.

2. *Ellissoide.* Sovra un ellissoide di rivoluzione (fig. 56) la tensione va crescendo verso i poli con questa legge, che « *le spessezze degli strati elettrici all'equatore e agli estremi dell'asse maggiore sono nella ragione degli assi stessi minore e maggiore.* »

3. *Dischi*, *lamine*, *cilindri*. Su i dischi, sulle lamine rettango-

lari e su i cilindri la tensione va crescendo dal mezzo verso gli estremi: agli orli la spessezza dello strato elettrico eccede sempre il doppio di quel che è nel mezzo.

4. *Conduttori a contatto*. Sieno finalmente due sfere uguali (fig. 57): nel punto di contatto E sino a circa 20° di distanza da esso la spessezza dello strato elettrico è nulla, poi cresce, dapprima rapidamente fino ai punti culminanti C, D, in seguito assai più lentamente fino agli estremi della retta AB, che ne unisce i centri, dove raggiunge il suo massimo. Se dopo elettrizzate si separano si trova in entrambe carica uguale.

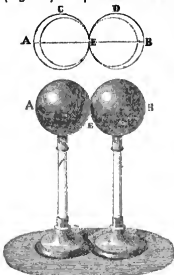


Fig. 57.

Non essendo poi uguali le sfere, avviene in parte il medesimo, tranne che agli estremi della linea de' centri la tensione è maggiore sulla sfera più piccola; e staccatele la minore si trova più carica di quel che risponderebbe alla ragione tra le due superficie.

50. **Potere delle punte**. Dalla legge della distribuzione della tensione sopra un ellissoide (49,2) s'inferisce, ch' essa debba essere massima alla estremità d'una punta metallica: infatti una punta è come la metà d'un ellissoide di rivoluzione ad asse maggiore allungatissimo. Di quì la virtù delle punte di sperdere l' elettrico. Infatti se al conduttore della macchina si sovrappone una punta, dovrà volgersi il disco più a lungo affinchè l'elettrometro segni la stessa deviazione che senza quella; e in parecchie circostanze mai non vi giunge; cessato poi lo strofinio, assai più rapidamente si avrà l'equilibrio nel primo caso che nel secondo.

Argano elettrico. Una specie di stella a cinque o sei raggi di filo metallico, le cui estremità finiscano in punta e tutte piegate ad angolo retto pel medesimo verso, costituisce l'ordigno che à nome di *argano elettrico*; imperocchè equilibratolo sur una punta piantata sul conduttore della macchina, non appena questa agisce, e to-

sto l'argano prenderà un movimento di rotazione in senso opposto alla direzione delle punte. Sarebbe un errore attribuire questo rivolgimento ad una spinta prodotta dal flusso elettrico, come succede per reazione de'liquidi o degli aeriformi. Noi non conosciamo tale maniera d'influenza degli imponderabili sulla materia ponderabile. Ma l'effetto è dovuto alla ripulsione dell'aria, che prende per contatto la medesima elettricità del conduttore.

Infatti la presenza dell' aria è richiesta all' esperienza, poichè largano rimane immobile nel vuoto pneumatico. Anzi per allontanare il sospetto, che la mancanza della rotazione avvenga pel dissiparsi della elettricità nel vuoto da tutt' i punti del conduttore come dagli estremi, si ricovra d' uno strato di vernice isolante tutto intero l' argano all' infuori delle punte; e si vedrà rimanere immobile come prima. Per converso così modificato girerà nella trementina e in tutt' i coibenti liquidi come negli aeriformi.

Aura elettrica. Che poi veramente l'aria elettrizzata sfugga dal conduttore, si dimostra con tutte quell' esperienze, che rendono sensibile l'*aura* o *il venticello elettrico.* Infatti basterà per assicurarsene avvicinare una estremità d'un lungo tubo di cristallo al conduttore della macchina, e presentar la palma della mano all' altro capo, o pure la fiamma d' una candela. Riesce anche più intensa l'impressione sulla mano, e il piegarsi della fiamma impiegando una punta sul conduttore (fig. 59) e avvicinando a mano la bugia o per l'opposto disponendo la fiamma sul conduttore (fig. 60) e appressandoe a mano la punta.

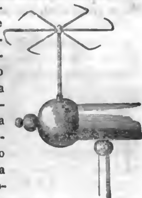


Fig. 58.

51. Distribuzione dell'elettrico ne' coibenti. La maniera di distribuirsi l'elettricità ne'coibenti è più complicata che ne'conduttori. A qualsiasi punto d' un conduttore si comunichi una certa quantità di elettrico, tutto il corpo di presente ne rimane elettrizzato. Non così se è coibente; ma la elettricità tende a spandersi a distanza dal punto toccato nella ragione diretta della sua tensione, e nella inversa della resistenza ossia della forza isolante.

Abbiasi infatti uno strato resinoso qualunque P (fig. 61), sul

quale si segnino due linee *a*, *b*, con due corpi fortemente elettrizzati, l' uno positivamente, l'altro negativamente. Poscia mediante un manticetto S si lancino insieme su quello due finissime polveri di solfo e di minio. Entrambe con lo strofinio si elettrizzano, il solfo in più, il minio in meno: e si arrestano non pure sulle linee elettrizzate, ma anche alquanto all' intorno con ramificazioni distinte sulla linea positiva, disegnando le tracce secondo cui l'elettricità si è dispersa. Questa elegante esperienza à il nome di *figure di Lichtemberg*.

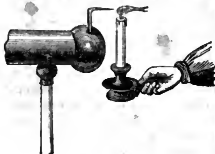


Fig. 59.

Si deve però a Matteucci l'avere scoverto, che parte dell' elettrico penetra alquanto sotto la superficie del coibente. Ei comunicava prima elettricità positiva a un cilindro di stearina; quindi

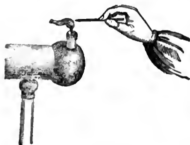


Fig. 60.

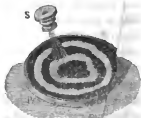


Fig. 61.

strofinandolo con un pannolana ne avea segni di elettricità negativa. Ma fuso leggermente il primo strato superficiale o anche scioltolo lavando il cilindro con etere, riapparivano i segni di elettricità positiva. Avremo altre prove di questa verità trattando della induzione.

Dispersione delle cariche. La carica di un conduttore isolato dee soffrire delle perdite così da parte dell'aria circostante, come da parte de'sostegni.

1. *Per contatto dell'aria*; la cui influenza è tanto maggiore quanto è più umida e più rara. Per l'una e per l'altra ragione si scari-

ca prestamente un conduttore, intorno a cui si gira una fiamma, la quale riempie l'aria di vapori e la dilata. Che se la densità e la umidità restano costanti, la perdita in un tempo breve è proporzionale alla carica.

2. *Per mezzo degl'isolatori*; poichè non vi sono corpi, che non abbiano qualche grado di virtù conduttrice. Purtuttavolta avendo dimostrato Coulomb, che in un cilindro coibente si spande l'elettrico a maggiore distanza dal conduttore elettrizzato quanto è più forte la carica, ma che sempre al crescere della distanza la elettricità diminuisce, ne consegue che in ogni caso potrà determinarsi la lunghezza d'un dato cilindro per isolare completamente una data carica. Infatti si sospenda una pallina elettrizzata a un filo di gomma lacca di costante diametro, e se ne vada crescendo gradatamente la lunghezza: si giungerà a tal termine, in cui la perdita sofferta dalla pallina sarà sempre la stessa, o che penda da un solo di tali fili, o da due o da tre. Questo basta per inferirne che a quel termine di lunghezza la gomma lacca è un isolante perfetto, e che la perdita è dovuta al solo contatto dell'aria.

Inoltre sperimentando su fili di natura diversa e del medesimo diametro la virtù isolante sarà nella ragione inversa delle lunghezze richieste ad isolare completamente. Per Coulomb un filo di seta deve essere dieci volte più lungo d'un filo di gomma lacca.

INFLUENZA O INDUZIONE ELETTROSTATICA.

52. **Elettricità d'influenza.** Un corpo elettrizzato può esercitare la sua attività non solamente con l' intervento de' corpi conduttori che il circondano, ma pure attraverso gl'isolanti, e svolgere, o modificare i fenomeni elettrici sui corpi che si trovano in distanza, senza punto cedere del proprio elettrico, e senza nulla sottrarne. Questa nuova maniera di azione dicesi *influenza* o *attuazione o induzione elettrostatica*. Essa avviene in due modi, cioè o quando un solo de'corpi è elettrizzato, l'altro è a stato naturale; e questo secondo si elettrizza anche esso per influenza: o quando ambo i corpi sono elettrizzati, e allora restano modificate le tensioni e le capacità, senza che si alterino le cariche.

53. **Induzione sopra un conduttore a stato naturale.** Tre casi possiam supporre: o il conduttore a stato naturale è

isolato, o comunica col suolo per un istante e ritorna isolato, o stabilmente comunica col suolo; esaminiamoli a parte.

Primo caso. *Conduttore isolato.* Al conduttore della macchina *m* (fig. 62) presentiamone un altro di qualsiasi forma, ed isolato,

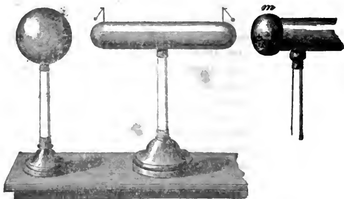


Fig. 62.

ma a tale distanza che non possa passare elettricità dall'uno all'altro. Non appena la macchina agisce, e tosto gli elettrometri sulla superficie del conduttore, che era a stato naturale, divergeranno; ed è facile assicurarsi che il conduttore *attuante* non à comunicato parte di sua elettricità al conduttore *attuato*, poichè se l'uno si scarica o si allontana, tutti i segni elettrici spariscono sull'altro. Or esaminando le fasi dell'elettricità sorta a questo modo, sarà agevole scovrire i due fatti seguenti:

1.° La tensione è massima a' due estremi del conduttore indotto, e va diminuendo per gradi fino a divenire nulla: la sezione che rimane a stato naturale non corrisponde alla metà del conduttore indotto, ma si appressa al conduttore inducente, e tanto più quanto la sua azione è maggiore.

2.° La sezione neutra divide il conduttore indotto in due parti, che ànno tensioni opposte tra loro: la più vicina al conduttore inducente à elettricità di nome contrario a quella di che esso è carico, la più lontana elettricità del medesimo nome. Così essendo, come d'ordinario, positivo il conduttore della macchina, la estremità più vicina del cilindro sarà negativa, la più remota positiva.

È qui importante osservare, che un conduttore elettrizzato per influenza può elettrizzare alla sua volta del pari un altro condut-

tore, che nelle stesse condizioni gli si presenta. Così appressando al primo cilindro una sfera, il segmento più vicino di questa si elettrizzerà negativamente, il più lontano positivamente.

Secondo caso. *Conduttore comunicante col suolo per un istante.* Se mentre il conduttore isolato risente la influenza elettrica, si tocca un istante con un conduttore comunicante col suolo, e poi di bel nuovo si lascia isolato, i fenomeni elettrici che esso presenta saranno del tutto diversi.

1.° La tensione è omogenea in tutta la sua lunghezza, e più forte nelle parti vicine al conduttore inducente.

2.° Essa è di natura opposta a quella del conduttore inducente.

3.° Non è più una elettricità d' influenza, e temporanea, ma si è trasformata in elettricità di carica, stante che non si vede svanire quando si scarica o si allontana il conduttore inducente.

Terzo caso. *Conduttore in comunicazione stabile col suolo.* Allora la tensione del conduttore indotto

1.° È omogenea: à un valore massimo in vicinanza del conduttore inducente, e diviene nulla ad una certa distanza da esso;

2.° È di specie contraria a quella del conduttore inducente;

3.° Svanisce se manca la carica o la prossimità del conduttore inducente.

Cagione della induzione. Niente è così facile come lo spiegare i fatti esposti in ambe le ipotesi elettriche. Secondo quella di Franklin la elettricità positiva del conduttore inducente respinge l'elettrico naturale, che si trova distribuito nel conduttore isolato, d'onde in questo le due opposte tensioni; e se il conduttore inducente è negativo, la sua materia ponderabile scarseggiante di elettrico attrae la elettricità naturale del conduttore indotto. Ove poi il conduttore indotto comunichi un istante col suolo, l'inducente respingerà nel suolo la elettricità omogenea, e 'l conduttore indotto resterà elettrizzato contrariamente per carica. Si dica lo stesso se la comunicazione col suolo è persistente; ma allora lo stato elettrico continua ad essere d' influenza.

Nè meno agevole riesce la spiegazione de' fenomeni nella ipotesi symmeriana, come ciascuno di per se lo argomenta.

Adunque ogni corpo elettrizzato genera uno stato elettrico ne' corpi circonvicini, spostando la elettricità naturale che in essi si trova, ossia scomponendo il loro fluido neutro; e ciò a maggiore o minore distanza in ragione di sua tensione, dentro però certi limiti, che costituiscono l'*atmosfera d' induzione elettrica.*

54. Conseguenze ed osservazioni importanti.

1.° *L'attrazione elettrica non succede che tra corpi elettrizzati oppostamente*; e non già tra un corpo elettrizzato e un altro a stato naturale, come sembrerebbe inferirsi dall'azione attraeute esercitata da un corpo elettrizzato sui corpicciuoli leggieri. Infatti l'attrazione in ogni caso dev'esser preceduta dalla influenza; se ciò non accade per qualsiasi ragione,il corpicciuolo non è attratto. Così di due palline uguali di gomma lacca se covrasi una sola con foglia sottile di oro, e non l'altra, quella prima sarà attratta non già la seconda che difficilmente si elettrizza per influenza. E se una pallina conduttrice poggiata sovra un sostegno isolante non è sensibile all'attrazione di un corpo elettrizzato, sarà attratta all'istante appena venga toccata con un filo metallico; perchè nella prima condizione i due stati elettrici non sono abbastanza separati, e nella seconda divien carica di elettricità contraria.

2.° *Conduttore indotto armato di punte*. Se il conduttore che è sotto l'influenza finisce in punta nella sua estremità più lontana, potrà, sebbene isolato, trovarsi carico di elettricità opposta a quella del conduttore inducente; poichè l'altra si è dissipata per la punta. E vicendevolmente se la punta si trova dalla parte del conduttore inducente, passerà su questo la elettricità contraria, e 'l conduttore indotto risulterà carico di elettricità dell'istesso nome che quella dell'inducente. Questa è la *funzione delle punte* nella macchina elettrica: il disco elettrizza per influenza il conduttore: il pettine, che ne è la parte più vicina, prende elettricità opposta la quale per le punte passa nel disco, e da esso ai cuscini: il conduttore così si trova carico della elettricità medesima del disco. Nè meno favorevolmente si spiega il fenomeno nella ipotesi di Franklin mediante la induzione; in virtù di questa le punte diventano negative, e la elettricità passa dal disco in esse in forza dell'attrazione tra l'elettrico e la materia ponderabile.

3.° *Non si esercita induzione attraverso i corpi conduttori comunicanti col suolo*. Si abbiano infatti tre lamine metalliche isolate A, B, C. Se la prima viene elettrizzata, poniamo positivamente, secondo le note leggi si elettrizzeranno per influenza B e C così, che la faccia di B rivolta ad A sarà negativa, l'altra positiva, e così pure le due facce di C. Ma se B comunica col suolo, la sua faccia che guarda la lamina A resterà negativa, l'opposta però ritornerà a stato naturale ; se essa dunque è estesa a sufficienza spariscono tutti i segni d induzione in ambedue le facce di C.

Non è così de' corpi coibenti; la induzione si opera attraverso essi, qualunque sia la loro estensione e natura, sieno solidi, liquidi, o aeriformi; per la quale ragione tutti gl'isolanti furono chiamati da Faraday corpi *dielettrici.*

4.° *Induzione nell'elettroscopio ordinario.* Se il corpo elettrizzato si porta a contatto del bottone dell'elettroscopio, la tensione, per cui divergono le laminette d'oro, sarà una tensione di carica. Oltre a ciò possono anche aversi fenomeni d'induzione, cioè quando il corpo elettrizzato, per esempio un bastoncello di cera di Spagna A (fig. 63), si accosta ma non a contatto al bottone C; questo allora mostra per induzione tensione positiva, e le laminette *n*, *n* divergono per tensione negativa. Infatti la divergenza diminuisce e si annienta quando si allontana A, riappare quando si avvicina.

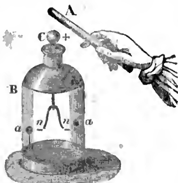


Fig. 63.

Ben altrimenti va la cosa, se mentre A agisce per influenza sull' elettroscopio, si tocca con un dito il bottone C, e poi si lascia isolato. Allora la tensione delle foglioline è opposta a quella del corpo A, e perdura anche se esso si allontana: ciò vuol dire che è di carica. In questo caso la divergenza cresce quando si accosta un corpo carico di elettricità omologa, diminuisce se di contraria. E si noti che diminuisce pure quando si appressa un corpo a stato naturale, il quale risentendo la influenza del bottone dell'elettroscopio prenderà nelle parti più vicine elettricità contraria. Di quest'ultimo caso si darà presto ragione.

Ora si comprende, come quei dischetti o laminette di metallo *a*, *a*, che si collano alla campana B, e toccano il sostegno, valgano pure ad accrescere la sensibilità dell' elettrometro. Imperocchè elettrizzandosi per influenza con elettricità opposta a quella delle laminette *n*, *n*, queste si allontaneranno fra loro tra per la ripulsione scambievole, e per l'attrazione che ciascuna d'esse risente da *a*, *a*.

5.° *Elettricità delle cascate d'acqua.* Si è osservato sovente che a cielo sereno gli elettroscopii in vicinanza delle cascate d' acqua

dan segno di elettricità negativa. Questo pure è un fenomeno d'induzione; poichè l'aria a ciel sereno è positiva, e quindi una cascata d'acqua deve elettrizzarsi di elettricità contraria, come tutti i corpi sporgenti in alto sulla superficie terrestre. Avviene l'opposto allorchè il cielo è negativo.

Possiamo ripetere a piacimento tali esperienze lanciando in su con fontana di compressione un getto continuo di acqua. Se ciò si prattica all'aria libera sopra un terrazzo si avrà in grande una induzione dell'atmosfera; e i fenomeni saranno gli stessi che in piccolo d'appresso al conduttore della macchina.

6.° *Cessazione dell'influenza; controcolpo elettrico.* Abbiam detto che à fine la influenza o scaricando o allontanando il conduttore inducente; ma v'è una differenza tra l'operare nell'un modo o nell'altro. Se si allontana il conduttore inducente, i pendolini dell'indotto tranquillamente si abbassano; ma se quello si scarica traendone una scintilla, allora i pendolini cadono d'un colpo solo. Ciò si avvera sia isolato o comunicante col suolo il conduttore indotto; e ne è cagione il ritorno dell'elettricità all'equilibrio lentamente nel primo caso, subitamente nel secondo.

Il rifluire dell'elettrico dal suolo nel conduttore repentinamente per cessata influenza dicesi *controcolpo elettrico*; e se ne dimostra elegantemente la potenza colla seguente esperienza. Sospendasi ad uncinetto metallico entro l'atmosfera d'induzione della macchina elettrica una rana viva o anche morta e preparata, come direm tra breve, alla maniera di Galvani. Non appena la macchina si mette in azione, e le cosce della rana divergono: questo è un fenomeno d'influsso, e si à la divergenza per ripulsione come ne' fili dell'elettrometro: il fatto sparisce e si rinnovella ogni volta che si allontana o si avvicina la rana. Che se mentre essa è nel recinto dell'atmosfera d'induzione, si scarica il conduttore traendone una scintilla, la rana torna a stato naturale ma stranamente convellendosi.

55. **Influenze reciproche.** Anche i corpi elettrizzati esercitano un'azione scambievole d'influenza, la quale consiste in modificare l'uno nell'altro la tensione e la capacità per l'elettrico. Abbiansi due dischi metallici A, B, (fig. 64) ad orli rotondati, sostenuti su colonne isolanti, e mediante una verga e un rocchetto dentati possano avvicinarsi o scostarsi: ciascuno alla sua faccia posteriore è munito d'un elettrometro *a, b;* e tra entrambi è la sottile lastra di vetro C. Chiamansi *piatti coniugati* di Volta.

Or se portati i piatti A, B, a contatto della lastra C (fig. 65) si mettano con un arco metallico in comunicazione tra loro e con un conduttore elettrizzato, è chiaro che acquisteranno una quantità uguale di elettrico dello stesso nome, e i due elettrometri segneranno uguale tensione, imaginiamo positiva. Ciò fatto, se tolto il

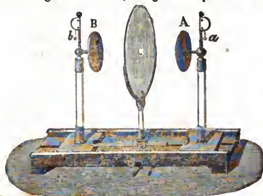


Fig. 64.

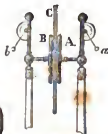


Fig. 65.

contatto de'dischi col conduttore elettrizzato e tra loro, essi di nuovo si scostano (fig. 64), si osserverà costantemente che accostandosi l'uno all'altro le palline degli elettrometri devieranno di più, e devieranno meno allontanandosi. È questo un fenomeno d'induzione scambievole tra i due piatti elettrizzati omologamente; cresce la ripulsione tra le due elettricità al diminuire della distanza, ed esse allontanandosi dalle facce anteriori in maggiore copia si accumulano sulle facce posteriori. Adunque *per induzione reciproca tra due corpi omologamente elettrizzati crescendo la distanza diminuisce la tensione e quindi si aumenta la capacità, diminuendo la distanza cresce la tensione e la capacità diminuisce.*

In secondo luogo comunichiamo ai due piatti A, B, (fig. 64) quantità uguali di elettricità opposte, ponendoli separatamente a contatto con due conduttori che ne sono carichi. Le tensioni segnate dagli elettrometri *a*, *b*, saranno le stesse ma scarsissime: cresceranno però quando i piatti si allontanano, diminuiranno di nuovo allorchè si accostano. Ora cioè osserviamo l'opposto che nell'altro sperimento; nè può essere altrimenti. L'attrazione fra le elettricità contrarie le chiama nelle facce interne de' piatti: le loro facce esterne ne restano prive; e però l'effetto della induzione reciproca tra due corpi contrariamente elettrizzati è il seguente: *di-*

minuisce la tensione e cresce la capacità a minore distanza, e a distanza maggiore cresce la tensione e scema la capacità.

Questi fatti si avverano sia qualunque la natura della lastra coibente C frapposta invece del vetro; e pure quando non v'è che l'aria tra i due piatti. Le tensioni contrarie diminuiscono indefinitamente con la distanza, e si renderebbero zero quando la distanza fosse nulla. Ma i piatti non debbono accostarsi oltre un certo limite, al quale le opposte elettricità vincendo la resistenza dell' isolante che le divide si combinerebbero, restituendosi a stato naturale. Se ciò non accade, i piatti ritengono intere le loro cariche; ma per l'aumentata capacità le tensioni diminuiscono; perciò le loro elettricità si chiamano *latenti* o *dissimulate*; ed elettricità *libera* quella, che non risente influenza da altro corpo elettrizzato; e finalmente elettricità *vindice* quella, che da latente rendesi libera, come se volesse dirsi *rivendicata*.

56. **Funzione del corpo dielettrico ne' fenomeni d'induzione.** Si era creduto sino agli ultimi tempi che il mezzo isolante nessuna parte attiva prendesse ne' fenomeni d' influenza, tranne quella di non permettere che la elettricità di carica passasse dal corpo inducente sull'indotto. Dobbiamo però a Faraday l'aver conosciuto che il mezzo dielettrico vi contribuisce attivamente; ne andremo sponendo le scoverte in distinte proposizioni.

1.ª *La induzione attraverso i dielettrici può anche esercitarsi per linee curve;* e ciò qualunque sia lo stato fisico del dielettrico.



Fig. 66.

Primamente in quanto agli aeriformi, ad un cilindro S di gomma lacca (fig. 66) sovrapposta una mezza sfera metallica T, ed elettrizzata negativamente la gomma lacca strofinandola con un pannolana, comunichi la coppa T col suolo. Si collochi poi la pallina conduttrice V sostenuta da un filo di gomma lacca successivamente nelle diverse posizioni *a*, *d*, *c*, *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p*, e se ne esplori lo stato elettrico sotto l'influenza della gomma lacca a questo modo; che ogni volta la pallina sia messa in comunicazione col suolo, poi isolata, e finalmente se ne saggi la tensione nella bilancia di Coulomb. Essa si mostra sempre carica d'elettricità positiva, ed è secondo le leggi esposte (53, 2.° caso). Si osservi però, che nelle posizioni *a*, *d*, *c*, la induzione della gom-

ma lacca può esercitarsi in linea retta, non così nelle altre posizioni *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p*, *q*, essendo il conduttore T in comunicazione col suolo (54,3); adunque fin colà si è protratta in linee curve.

Per dimostrare la stessa maniera di azione attraverso i liquidi, al cilindro S (fig. 67) di gomma lacca elettrizzato negativamente sovrappongasi la mezza sfera T, e a questa un bicchiere di vetro sottile M spalmato d' uno strato di vernice alla gomma lacca contenente dell'olio di trementina purificato. Ciò fatto, saggiando lo stato elettrico della pallina V nelle due posizioni *a*, *b*, nell' olio e nell'aria, all'istesso modo e con le medesime precauzioni che nell' altro sperimento, si trova sempre carica di elettricità positiva. Adunque l' azione inducente della gomma lacca à traversato in linea curva l'aria, il vetro, e la trementina.

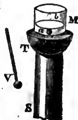


Fig. 67.

Similmente Faraday à operato pe'solidi sovrapponendo alla mezza sfera metallica una lamina di solfo, e à ottenuto uguali segni di tensione positiva.

2.ª *I corpi dielettrici ànno un potere specifico induttore.* Per venire a questa conseguenza il fisico inglese eseguì la seguente esperienza preliminare. Dispose tre lamine metalliche ed isolate A, C, B (fig. 68) così, che quella di mezzo fosse fissa, le altre potessero avvicinarlesi o scostarsene, e per mezzo di fili metallici fossero in comunicazione con due foglioline d' oro *a*, *b*, pendenti entro una bottiglia. Essendo le lamine A, B ad uguale distanza da C, elettrizzò C positivamente, e insieme fè comunicare col suolo A e B per un istante, e le restituì all' isolamento. Così operando le foglioline d'oro rimasero verticali, senza dar segno di essere elettrizzate. Ma avvicinando la lamina A all'altra C, le foglioline *a*, *b*, di presente si attrassero, e trovò che *a* era positiva, *b* negativa. Questo fatto dimostra che nel primo caso la induzione di C sulle lamine A e B è la medesima, essendo uguali le distanze: nel secondo poi è maggiore da quel lato dov'è minore la distanza.

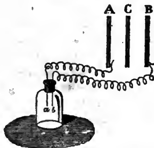


Fig. 68.

Ciò premesso, collocate di nuovo le due lamine ad uguale distanza da C, ridotta ogni cosa come prima, frappose tra A e C un disco di gomma lacca. All'istante vide attrarsi le foglioline *a*, *b*, essendo pure *a* positiva, *b* negativa: tolto il disco cessò l'attrazione; e rimessolo tra B e C riapparve, ma *b* era positiva, *a* negativa. Poichè dunque per la presenza della gomma lacca l'effetto è come se fosse minore la distanza, bisogna inferirne che la induzione si trasmette con più intensità attraverso la gomma lacca che attraverso uno strato d'aria della stessa spessezza. Faraday chiamò tale virtù de'dielettrici di trasmettere la induzione *potere specifico induttore*, e preso per unità quello dell'aria trovò i seguenti numeri:

spermaceto **1,45**; vetro **1,76**; gomma lacca **2,00**; solfo **2,24**.

Belli quasi contemporaneamente a Faraday con altro metodo, e Harris ànno ottenuto de' numeri alquanto differenti.

3.ª *Le molecole de' dielettrici si polarizzano durante la induzione.* Per ispiegare la propagazione dell' azione induttrice attraverso gl' isolanti, Faraday opina, che ogni molecola d' un corpo di qualunque natura in presenza di altro corpo elettrizzato si *polarizzi*: cioè la sua metà più vicina prenda elettricità di nome contrario, la metà più lontana elettricità del medesimo nome. Quella prima molecola ne polarizza una seconda, questa una terza e così di seguito: si propaga dunque la induzione da strato a strato, e le molecole successive si guardano co' poli dotati di elettricità opposte. Se tale successione di azioni avviene in un buon conduttore, questo stato non dura che un istante; la polarizzazione sparisce a misura che si produce, ritornando a stato naturale i poli contrarii. Le sole molecole degli strati estremi conservano uno de' loro poli, donde le elettricità opposte alle estremità di un conduttore isolato.

Ma se il corpo è isolante, per la difficoltà che incontra l' elettrico di passare da una molecola polarizzata all'altra, esse non si scaricano a vicenda, e lo stato d' induzione è durevole: dentro però certi limiti così dal lato della tensione del corpo inducente, come dal vario grado di forza isolante nel corpo indotto.

La seguente esperienza di Faraday vale come prova diretta della polarizzazione del mezzo dielettrico. Due verghe metalliche A, B, (fig. 69) terminate in punta traversino le pareti della vasca di cristallo M, e restino a poca distanza fra loro. A comunichi col conduttore della macchina, B col suolo. Se nella vasca si versa dell'olio di trementina sino a covrire le verghe, e sul liquido si

fan cadere de' minuti frammenti di seta bianca in fili, questi, essendo la macchina in azione,accorrono da tutt'i punti,e unisconsi capo a capo tra le due punte A, B. Restano così finchè la macchina agisce; non appena cessa e la catena si scompone. Somigliante fenomeno à osservato Matteucci spargendo sull'olio di tre-

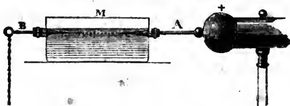


Fig. 69.

mentina diverse polveri; ed indica lo stato di polarizzazione, che acquistano le stesse molecole liquide nel passaggio dell'elettrico.

CONDENSATORE ED ELETTROFORO

57. **Condensatore ad aria.** Le induzioni reciproche avvengono non solo se i due corpi sono elettrizzati per carica, ma pure se un d'essi è elettrizzato per carica, l'altro per induzione. Infatti mentre i piatti coniugati A, B (fig. 64), toccano la lastra coibente, poniamo A in comunicazione col conduttore positivo della macchina, lasciando B isolato. L'elettrometro *a* segnerà una tensione di carica, l'elettrometro *b* una tensione d'influenza: scostando un piatto dall'altro la tensione di *a* resterà persistente, quella di *b* verrà a mancare; e ciò secondo le leggi dell'induzione. Ma se mentre il piatto B è in presenza di A, si pone B in comunicazione col suolo, si vedrà l' elettrometro di B andare a zero, e diminuire i segni di tensione in A. E ciò sebbene A niente abbia perduto della sua carica positiva, e lo stato negativo di B sia qual'era prima; poichè se rendasi di nuovo isolato B,e poi si allontani A da B,crescono le tensioni di entrambi. Ciò è pure un effetto d' induzione reciproca. La elettricità positiva di A elettrizza per influenza il disco B, e se questo comunica col suolo vi caccia la elettricità positiva, ritenendovi per attrazione la negativa, la quale non è libera ad esercitar tensione, ma vi è dissimulata o latente; e quindi *b* torna a zero. Questa pure agisce alla sua volta per attrazione sulla elettricità positiva di A, e la dissimula. Se non che v'è

una notevole differenza tra le intensità delle due azioni. Lo stato elettrico d'induzione in B mai non pareggia la carica di A; il limite dell'uguaglianza sarebbe solamente alla distanza zero, quando ogni induzione diventerebbe impossibile; adunque perchè l'azione di A è più valida, sarà capace di dissimulare completamente la tensione negativa di B, ma l'azione di B non farà che diminuire la tensione di A, dissimulandone una parte tanto maggiore, quanto è minore la distanza che separa i due piatti (*).

Ciò posto, se il piatto A, la cui tensione è diminuita, si pone di nuovo a contatto col conduttore della macchina, che si suppone nelle stesse condizioni di prima , dovrà prenderne nuova quantità di elettrico sino all' equilibrio di tensione. Questa novella carica di A eserciterà induzione su B: altra quantità di elettrico sarà spostata, e dissimulata per intero, la quale dissimulerà pure una frazione dell'elettricità di A; e però messo A una terza volta a contatto del conduttore ne prenderà una terza carica, e così di seguito.

Di leggieri si comprende, che ottiensi il medesimo effetto senza questi contatti successivi, ponendo stabilmente a contatto il piatto A col conduttore della macchina,il piatto B col suolo. A prenderà in una volta la quantità di carica, che corrisponde a quelle successive azioni d'influenza reciproca.

Adunque *la induzione reciproca tra un conduttore isolato, ed un conduttore non isolato, si riduce ad un aumento di capacità nel primo d'essi*, in tanto da divenire adatto a contenere una carica maggiore, che senza la influenza a pari tensione. L'elettricità vi si accumula, vi si condensa; perciò a questi apparecchi si dà nome di *condensatori*. Quando fra i due piatti non v'è altro coibente che uno strato d'aria si à il *condensatore ad aria*, o di Epino.

Forza condensante. Si chiama forza condensante *la relazione tra la carica d'un conduttore nell'otto dell' influenza reciproca e quella che prenderebbe se fosse solo.*

Riess à scoverto la seguente legge :

La forza condensante è *nella ragione diretta di queste tre quantità 1.° dell'attività della macchina che somministra l'elettrico, 2.° dell'ampiezza delle superficie conduttrici, 3.° del potere specifico*

(*) Epino in ciò ebbe a correggere Franklin, il quale avea opinato che le opposte cariche ne' piatti del condensatore fossero uguali.

induttore del dielettrico che le divide; e nella ragione inversa della spessezza di questo.

58. **Condensatore di Volta.** Volta imaginò diverse maniere di costruir quest' istrumento nello scopo di rendere sensibili delle cariche elettriche così deboli, che non agiscano direttamente sugli elettroscopii. In generale si compone di due piatti sovrapposti l'uno all'altro orizzontalmente : il superiore detto *scudo* o *collettore* è di metallo ed à un manico isolante: l'inferiore, detto anche *base*, può essere di metallo, ma ricoverto per tutto d'uno strato sottile di materia coibente; e può comporsi altresì, come il Volta usò da principio, d'una sostanza semicoibente, ad esempio di marmo bene asciutto, di tela, di pergamena, di legno, e simili.

Essendo dunque lo scudo sulla base, e questa in comunicazione col suolo, si metta un corpo elettrizzato a contatto del collettore. Il collettore ne prende elettricità, la quale induce uno stato elettrico contrario sulla faccia superiore della base, donde la capacità del collettore viene accresciuta, e nuova carica toglie al corpo elettrizzato. Ridotto finalmente ad equilibrio di tensione con esso, se pel manico isolante si solleva, la capacità diminuisce all' istante e la tensione sarà divenuta sensibile agli elettroscopii ordinarii.

Il semicoibente conviene non sia nè troppo conduttore sino a togliere l' elettricità comunicata allo scudo, nè troppo coibente da non risentire abbastanza l' azione d' influenza. Per tale ragione il medesimo Volta preferì il condensatore a base metallica.

59. **Elettrometro-condensatore di Volta.** Ingegnosa ed utilissima fu la idea che surse al Volta nel 1783 di unire l' elettrometro a foglie d'oro col condensatore in un solo strumento (fig. 70 e 71). Il condensatore, che s'impiega a tal fine, è formato di due piatti metallici a superficie levigata, ricoverti entrambi di uno strato sottilissimo di vernice copale sulle facce che si guardano, e nel rimanente dorati. Uno d'essi A si unisce a vite sul bottone metallico dell' elettroscopio con lo strato coibente in alto; il secondo B à un manico isolante.

In quanto al modo di valersene si osservi, che ciascuno de'due piatti può operare da collettore. Poniamo che funzioni B da collettore. Si sovrappone lo scudo B al piatto A (fig. 70) ; poi si mette il corpo elettrizzato a contatto con lo scudo, e nello stesso tempo si fa comunicare col suolo il piatto A, toccandolo per esem-

pio con un dito. Per evitare questo contatto si costuma anche aggiungere al bottone dell'elettroscopio sotto il piatto A un' appendice metallica terminante in anello, che con catena metallica è in comunicazione col suolo. Così operando, sul piatto B si condensa

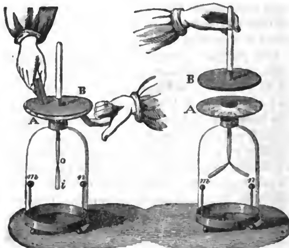


Fig. 70. Fig. 71.

l' elettrico, ma le foglie d'oro non divergono per essere minima la tensione, allorchè è massima la capacità. Che se tolta la comunicazione col suolo, si solleva lo scudo col manico isolante (fig. 71), si vedran divergere le foglie d'oro, ed appressarsi alle colonnette *m*, *n*; per che diminuita la capacità nell' allontanamento de' due piatti B, A, cresce in ragione uguale la tensione. La tensione delle laminette d'oro è contraria a quella del corpo con cui si sperimenta.

Può anche far le parti di collettore il piatto inferiore A ponendo a contatto con esso il corpo elettrizzato, mentre il superiore comunica col suolo, e operando in tutto allo stesso modo come dianzi. In questo caso le laminette dell'elettroscopio divergeranno per tensione della stessa specie di quella del corpo elettrizzato.

60. **Condensatore a tre piatti.** Per rendere anche più sensibili le tenuissime cariche elettriche furono imaginati degl'istrumenti col nome di *duplicatori* da Bennet, da Nicholson, da Belli. A noi basterà descrivere quello di Pèclet. È un condensato-

re a tre piatti A, C, B (fig. 72) unito all'elettroscopio a foglie d'oro. Il piatto inferiore B comunica con le foglie d'oro *a*, *b*, ma del tutto isolato con gomma lacca dalla campana GH: è verniciato solamente alla superficie superiore. Il secondo piatto C è verniciato alle due superficie superiore e inferiore, non già all'orlo, e porta un manico isolante. Il terzo A è verniciato solamente alla superficie inferiore, à un foro nel centro, che dà passaggio all'isolatore di C, ed è munito d'un tubo di vetro E che opera da manico isolante. Tutto l'istrumento può equilibrarsi mediante le viti calanti *v*, *v*, *v*, e acquista vario grado di sensibilità accostando più o meno alle foglie d'oro *a*, *b*, le lamine metalliche *c*, *d*, comunicanti col suolo.

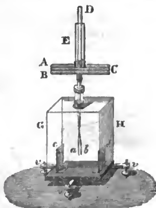


Fig. 72.

Si mette in opera a questo modo. Mentre il corpo debolmente elettrizzato è in comunicazione col piatto A, si tocca col dito l'orlo del piatto C: questo si carica per induzione di elettricità contraria come nel condensatore ordinario. Poi si solleva col manico isolante il piatto A, e si tocca col dito B; avrem pure l'azione d'un condensatore ordinario tra C e B, nel quale caso B prende elettricità contraria a quella di C, ossia identica a quella di A.

Se dunque rimettiamo il disco A al suo posto e tocchiamo C, le azioni di A e di B saranno cospiranti sul disco C, il quale perciò acquisterà una più forte carica; e sollevato il piatto A e toccato B sarà del pari più forte la carica di B.

Ripetendo più volte questi contatti si accumulerà una carica sempre maggiore sul piatto B, ma costantemente insensibile perchè dissimulata dall'elettricità contraria di C. Allorchè poi d'un colpo pel manico D si sollevano insieme i due piatti A e C, le foglie d'oro divergeranno assai più che nel semplice condensatore, e sempre per elettricità del medesimo nome di quella del corpo elettrizzato.

Tutte queste cose van dette nella ipotesi che durante l'esperienza non diminuisca la carica del piatto A. Se vi fosse ragione per

dubitare che ciò non si avveri, bisognerebbe toccare A col corpo elettrizzato tutte le volte che si pone C in comunicazione col suolo.

61. **Elettroforo perpetuo di Volta.** È pure un'applicazione delle esposte teorie. Esso fu ideato da Wilck professore di Stocolma nel 1762 ; ma il sommo italiano nel 1775 il perfezionò riducendolo alla forma, che vedesi nelle figure 73 e 74. Diciamone la costruzione, l'uso, e la spiegazione degli effetti.

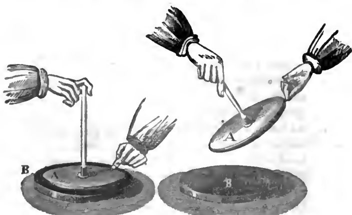


Fig. 73. Fig. 74.

L'elettroforo si compone di due parti: cioè del *piatto* B con entrovi la *stiacciata*, e dello *scudo* A.

Il *piatto* è un recipiente metallico , per lo più circolare , cogli orli rilevati ; vi si versa una materia coibente fusa , che solidificandosi con superficie perfettamente piana e levigata dicesi *stiacciata* o *mastice*. Volta usava una miscela di tre parti di trementina, due di ragia , e una di cera bollite insieme per più ore , tinta col alquanto di minio: Adams impiegò due terzi di gomma lacca, e un terzo di trementina: io ò trovato sempre ottima la miscela di due parti colofonia, due pece nera, e una trementina.

Lo *scudo* è un disco metallico di diametro alquanto minore del piatto, e munito di manico isolante.

Per usare l'elettroforo, si elettrizza negativamente la stiacciata percuotendola con coda di volpe , o con pelle di lepre dal lato de'peli, o con flanella. Poi vi si adagia sopra lo scudo A, e si tocca con un dito (fig. 73); finalmente tolto il contatto , si solleva col manico isolante, e si trova carico di elettricità positiva così da poterne avere una scintilla (fig. 74).

La spiegazione è evidente. La faccia inferiore dello scudo in poggiarlo sulla stiacciata negativa divien positiva per influenza, la superiore negativa; la quale poi in comunicar col suolo ne toglie elettrico, e ritorna a stato naturale. Laonde sollevando lo scudo si deve trovarvi un eccesso di elettricità, mostrasi cioè positivo.

La stiacciata non solo non si scarica in una volta della elettricità negativa, ma la ritiene per più mesi; e ciò per la sua natura coibente,per la levigatezza della superficie senza punti sporgenti, e per esservi quella trattenuta dalla elettricità positiva svoltasi per influenza nel piatto. L' elettroforo dunque resta in azione assai a lungo, donde l'epiteto di *perpetuo.*

Quando abbia grandi dimensioni l' elettroforó può sostituire benissimo una potente macchina elettrica. In quello di Vienna la stiacciata à il diametro di due metri e mezzo, e lancia scintille lunghe 20 centimetri e grosse 5 millimetri.

Il medesimo Volta applicò puranco l'elettroforo all'accendilume a idrogeno. Il moto stesso della chiave,che dà uscita all'idrogeno, solleva lo scudo d'un elettroforo sottoposto, il quale elettrizza un filo metallico interrotto incontro al getto gassoso: e questo per una scintilla che ne scocca si accende.

COIBENTI ARMATI.

62. **Quadro di Franklin, bottiglia di Leyden.** Il condensatore e l' elettroforo sono de' veri *coibenti armati*; pur si usa solamente tal nome quando il *coibente* è una lamina, in generale, di vetro, sulle cui facce sono incollate due sottili foglie metalliche, dette *armature.* Se la lastra è piana si à il *quadro di Franklin,* se à forma di bottiglia si chiama *bottiglia di Leida.*

Il principio d'azione d'un coibente armato è lo stesso che del condensatore, cioè l'aumento di capacità per le induzioni reciproche.Se una delle armature tocca un conduttore elettrizzato e l'altra il suolo, questa seconda per influenza si elettrizza contrariamente; d'onde la prima *si carica* molto più che se l' altra non vi fosse. Se dopo ciò si fan comunicare fra loro le due armature, le opposte elettricità tornano ad equilibrio, e'l coibente armato *si scarica.*

Anche un caso diè origine a questa scoverta nel 1745. Si elettrizzava a Leida dell' acqua in vase di vetro per mezzo d'una catenella metallica, che metteva l'acqua in comunicazione con una

macchina elettrica. Nell'atto che Cuneo impugnando il vase con una mano tentò coll'altra di estrarre la catenella risentì una forte scossa ; e tanto esagerata impressione produsse sì nuovo fenomeno, che Musschenbroek nel dare conto a Reaumur dell'avvenuto a se e all'altro, ebbe ad aggiungere che non si sarebbe esposto a riprovarne gli effetti *neanco per la corona di Francia.* In seguito gl'inglesi Watson e Bevis usarono le *armature metalliche*, Gralath a Danzica e Watson in Inghilterra composero le *botterie*, Iallabert ideò il *quadro*, e gli stessi Watson e Bevis il perfezionarono.

Costruzione d'un coibente armato. La lastra coibente del *quadro* può essere non solo di vetro, ma anche di mica laminare, o di cera lacca: Volta usò pure il legno fatto coibente.Sulle due opposte superficie s' incollano due foglie di stagno così , che tutt' intorno da'due lati vi resti una fascia coibente dell'ampiezza di circa cinque centimetri: il vetro si covre di vernice alla gomma lacca.

Il medesimo vale per la *bottiglia* ; ma se questa non è a bocca larga da potervisi incollare l'armatura interna, si riempie di sottili laminette o di limatura metallica; o anche agitatavi della colla liquida vi si versa la limatura che si attacca alla parete: potrebbe pure riempirsi d'acqua salsa o d'altro liquido conduttore. Al collo poi è aggiustata con sughero una verga metallica, che all' interno finisce in punta presso l'armatura, o la tocca con catenella metallica; e all'esterno termina in una palla che dicesi *pomo* o *bottone*; e talvolta si piega ad *uncino* per sospenderla dove che sia.

Più bottiglie così unite da equivalere ad un solo coibente armato, formano la *batteria*. Si dispongono tutte entro una scattola, o sovra una tavola, su cui è distesa una foglia di stagno; con ciò le armature esterne comunicano fra loro. Le interne si uniscono legando ai bottoni di tutte una stessa catena metallica , o con appendici che finiscano in un comune anello.

63. **Modi di caricare un coibente armato.** Possono ridursi tutti a due :

1.° *per afflusso ed efflusso continuo*, il quale consiste nel porre una delle due armature in contatto colla sorgente d'elettrico, l'altra col suolo : s' impugna ad esempio con una mano la bottiglia per l'armatura esterna, e si avvicina il bottone al conduttore della macchina.Se questo è positivo,l'armatura interna si carica in più, la esterna in meno. Avviene il contrario se si prende la bottiglia pel bottone, e l'armatura esterna tocca il conduttore.

2.° *per mezzo di scintille compagne*, che rendono sensibili le cariche opposte nelle due armature. Si isoli la bottiglia A (fig. 75), e si metta l'uncino B in vicinanza del conduttore C, e l'armatura esterna D dappresso a un conduttore E comunicante col suolo. In

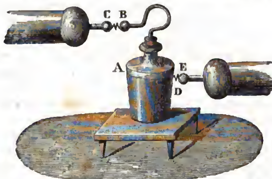


Fig. 75.

quel che si pone in azione la macchina si veggono scoccare insieme due scintille in CB, e DE, e proseguire a intervalli di tempo crescenti; la prima è l' elettrico, che dalla macchina va nell' armatura interna, la seconda quello che si scarica nel suolo dall'armatura esterna.

Simigliantemente si carica una batteria in un de' due modi.

Di leggieri pure s' intende la maniera di caricare una serie di bottiglie ideate da Franklin, e chiamata *per cariche conseguenti* dal Beccaria, e da'francesi *per cascata*. Le bottiglie sono ad uncino, ed ànno un gancio inferiormente. La prima si sospende al conduttore della macchina, e poi l' una all'altra in serie com'è nella figura 76. Elettrizzandosi positivamente l'armatura interna della prima, l' elettricità dalla sua armatura esterna va nell'armatura interna della seconda, e così di seguito.



Fig. 76.

64. **Misura della carica.** La *carica* d'un coibente armato, o la *quantità d'elettrico accumulatosi sull' armatura isolata*, si deduce dalla tensione e dalla capacità, essendo in ragione composta di entrambe. La tensione è data dall'elettrometro a contatto dell'armatura. La capacità poi è dipendente da diverse condizioni.

1.° È proporzionale al potere specifico induttore del coibente;

2.° È nella ragione inversa della sua spessezza;

3.° È nella diretta dell'ampiezza superficiale dell'armatura,che si pone a contatto della sorgente.

Approssimativamente si può misurare la quantità relativa di elettricità accumulata in un coibente, dal numero dei giri che à fatto il disco della macchina, o dal numero delle scintille di pari dimensioni che si sono fatte scoccare nell'atto di caricarlo.

65. **Limite della carica.** La carica d' un coibente armato non oltrepassa un certo limite,comecchè si prosegua a tenere la macchina in azione. Tre cagioni definiscono questo limite, e sono le seguenti:

1.° *La dissipazione dell'elettrico pel contatto dell'aria*, la quale è maggiore ne'quadri che nelle bottiglie, e cresce coll'aumento di tensione. Per essa inevitabilmente va anche a sparire del tutto la carica. Può seguirsene ad occhio l'andamento, se si elettrizza e poi s'isola una bottiglia avente un elettrometro a contatto di ciascuna armatura (fig. 77). In prima solo quello dell' armatura positiva *a* segna una tensione, ed indica la sua elettricità libera: allorchè questa si dissipa, ambo gli elettrometri *a*, *b*, mostrano una tensione quasi uguale, che si affievolisce e cessa. Fu ingegnosa la idea di Cavallo d' isolare l'armatura interna dal suo bottone, e di sottrarla così al contatto dell'aria. Si congiunge all' uncino della bottiglia un cannello di vetro, che va sino al fondo; la sua metà inferiore è rivestita internamente di foglia di stagno, dentro cui scorre una verga metallica lunga poco più che la metà del cannello. Nell'atto di caricare la bottiglia si capovolge, e così l'armatura interna comunica coll' uncino; poi si raddrizza, e diviene isolata.

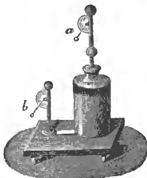


Fig. 77.

2.° *Il trascorrere dell' elettricità per la parte nuda del coibente*, che da principio può avvenire con lentezza,e poi può trasformarsi in una scarica spontanea superficiale.

3.° *La rottura del coibente*.Se è potente la macchina,e sono perfette le condizioni d' isolamento, si trova un limite nella carica

perchè si rompe il coibente, il quale più non vince la tendenza delle due elettricità all'equilibrio. Suole avvenire a 60° dell' elettrometro a quadrante, ma sovente anche prima, dov'è qualche eterogeneità nel vetro. Talvolta si forma solo un forellino, tale altra una lunga fenditura. La mica resiste più d'ogni altro coibente.

66. Sede della carica. Delle due opposte elettricità in una bottiglia carica una porzione risiede nelle armature, un'altra sul coibente: questa seconda è la maggiore nelle cariche forti: la prima lo è nelle cariche deboli.

Vale a dimostrare l'elettrizzamento del coibente la così detta *bottiglia ad armature mobili* A (fig. 78); perchè i suoi elementi, cioè

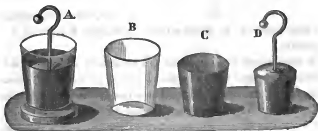


Fig. 78.

il bicchiere di vetro B, l'armatura esterna C, e la interna D sono tali da potersi separare, come nella figura, e ricongiungere insieme per comporne la bottiglia armata A. Or se questa bottiglia carica venga poggiata sopra un sostegno isolante, e con un manico pure isolante si sollevi pel suo uncino l'armatura interna, e si tocchi, si troverà scarseggiante di elettrico: e rimessala al suo posto si mostrerà la bottiglia carica presso che come prima.

Si elettrizzi pure una bottiglia a largo collo, contenente acqua, che faccia le veci dell'armatura interna. Se, mentre è isolata, se ne versa l'acqua con un sifone,si troverà che il liquido non è elettrizzato, e la bottiglia si mostra carica versandovi dell'acqua a stato naturale. Se poi, mentre l' acqua si versa, si tiene in mano la bottiglia, o altrimenti comunica col suolo l' armatura esterna, il getto liquido si trova carico, e per converso scarica la bottiglia. Dal quale esperimento s' inferisce che sul coibente la elettricità è trattenuta dalla elettricità contraria dell' altra armatura.

Penetrazione delle opposte cariche nel coibente. Faraday e Matteucci sono andati più innanzi sino a dimostrare che le due cari-

che opposte penetrano più o men profondamente nella massa del dielettrico. Il fisico inglese tra le altre esperienze congiunse insieme due lamine levigate di spermaceto, C, D, (fig. 79), e poscia armato il sistema con le lamine metalliche *a*, *b*, pose l'armatura *a* in contatto col conduttore positivo della macchina, l' armatura *b* col suolo. Quindi scaricò questa specie di quadro frankliniano dopo averlo isolato, e staccate rapidamente le due lamine C, D, trovò sempre l'armatura *a* positiva, l' altra *b* negativa.

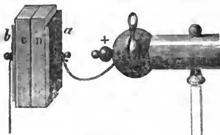


Fig. 79.

Più concludenti sono le prove del professore di Pisa. Egli armò a quadro un grosso cubo di spermaceto, e lo caricò alla maniera consueta; poi scaricatolo e tolte le armature vi fece delle sezioni con lastra di vetro; e trovò lo spermaceto fino ad una certa profondità positivo da un lato, negativo dall' altro. Allo stesso risultamento pervenne operando sovra un sistema di molte lamine di mica sovrapposte.

Questa penetrazione ne' dielettrici sotto l'influenza dell'azione induttrice, è conforme a quel che altrove abbiamo esposto.

Uffizio delle armature. Malamente dopo ciò si argomenterebbe essere superflue le armature. Valgono esse nella carica del coibente affinchè la elettricità si spanda per tutta la superficie, e da tutta la superficie sfugga nella scarica; altrimenti solo i punti toccati acquisterebbero o perderebbero elettrico. In fatti si carichi un vase di vetro tenendolo con una mano, e agitandovi dentro una catenella, che penda dal conduttore della macchina; poi tolta la catenella vi s' introduca l'altra mano: su'peli di questa si proverà tale una impressione quale da una tela di ragno. Se la mano non giunge a toccare la superficie interna, è un fenomeno d'induzione: ma la sensazione dura a lungo anche toccando il vetro, perchè tutti gli elementi di questo debbono scaricarsi successivamente.

67. **Scarica de' coibenti armati.** Accade in due modi: o per mezzo di *scariche successive*, o con una *scarica riunita*.

1. *Scariche successive.* Si carichi una bottiglia munita di due e-

lettrometri (fig. 77), ma isolati entrambi. Se tocchi il bottone dell' armatura positiva, il suo elettrometro, che solo deviava, andrà a zero, e l' altro darà segno di tensione : se poi tocchi questo secondo, andrà pur esso a zero e riapparirà la deviazione nel primo; e così ripetendo questi contatti alternativi si tolgono tutti gli eccessi di elettricità libera nelle due armature, e la bottiglia si scarica per intero.

Ciò si avvera nell'esperienza espressa dalla figura 80; si collochi sopra base isolata una bottiglia, alla cui armatura esterna per mezzo dell'appendice metallica CDEF è unito un bottone F di rincontro al bottone A, ed è sospeso fra entrambi un pendolo isolato

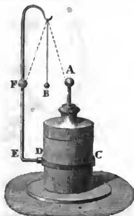


Fig. 80.

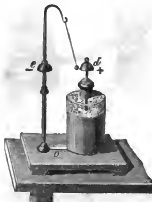


Fig. 81.

B. Questo sarà attratto alternamente e poi respinto da ciascuna armatura, e per mezzo di tai contatti successivi la bottiglia si scarica. Se ai bottoni van congiunte due campanine *d*, *e*, si à il così detto *scampanio a bottiglia* (fig. 81).

2. *Scarica riunita*. Volendo scaricare in una volta una bottiglia, si usa l'*eccitatore*, che consiste in un arco metallico a due braccia congiunte a cerniera con agli estremi due bottoni (fig. 82): con uno d'essi si tocca l'armatura negativa, con l'altro la positiva. Accade allora una scarica riunita, come se si succedessero con rapidità impercettibile quei contatti successivi e quelle scariche parziali. Se è grande la carica del coibente è forza usare l'*eccitatore a impugnature isolanti* (fig. 83).

Residuo delle scariche. Se scaricato un coibente armato si toc-

cano di nuovo le armature coll' eccitatore, se ne trae una seconda scintilla meno intensa, e poi una terza, e così di seguito. Il quale fatto costante dimostra, che non tutta la carica era tornata la prima volta all' equilibrio. Dobbiam distinguere col Beccaria due residui:

1. Un residuo *sensibile* o *prontissimo*, che si manifesta all' elettrometro non appena accaduta la prima scarica, ed è dovuto alla imperfezione del conduttore impiegato per far comunicare tra loro le armature.



Fig. 82.

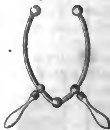


Fig. 83.

2. Un altro residuo *latente* o *renitente*, il quale sorge qualche tempo dopo la prima scarica; ed è dovuto alla porzione di carica *occultata* o per diffusione nella parte nuda del coibente e nel semicoibente che s'impiega per fare aderire le armature, o pure per uno spostamento della elettricità del vetro.

EFFETTI DELLE SCARICHE (*).

68. Scariche di conduzione, e di rottura. Dobbiam distinguere con Faraday due maniere di ritorno all'equilibrio degli stati elettrici opposti, cioè o attraverso corpi buoni conduttori, e si à la *scarica di conduzione*, o attraverso isolanti o cattivi

(*) Veramente più logico sarebbe trattare in una volta degli effetti e della elettricità statica e della corrente; ma l'amor di chiarezza mi costringe a parlarne separatamente. Dirò de' primi solo con brevità sponendo quel che ànno di speciale, riserbandomi discorrere più ampiamente de' secondi.

conduttori, e dicesi *scarica di rottura*.La prima è tranquilla e non produce che inualzamento di temperatura con lo spostamento molecolare che n'è conseguenza: la seconda è tumultuosa; ma gli effetti il più delle volte sono misti a norma del vario grado di forza conduttrice.

Scaricatore universale. Si usa quando vuolsi che la scarica, per esempio di poderosa batteria, traversi nn dato corpo. Esso allora si poggia sul sostegno P (fig. 84); a' due lati son le verghe metalliche AD, A'D' isolate su colonne di vetro C, C', e girevoli in tutt'i sensi,con agli estremi D, D' palline o punte secondo gli usi; degli anelli poi A, A' si fa comunicare uno con l' armatura positiva, l' altro con la negativa.

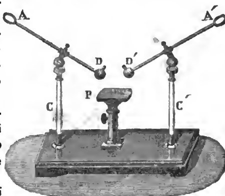


Fig. 84.

69. **Effetti caloriflci.** L'innalzamento di temperatura è nn effetto costante delle scariche elettriche.

Riscaldamento de' fili metallici. Riess per iscovrire le leggi del riscaldamento d'nn filo metallico nell'atto della scarica à ideato la seguente maniera di termometro. Ad un tubo termometrico leggermente inclinato con entro una goccia liquida, che serve da indice, è conginnta inferiormente una palla di cristallo : per questa passa un filo metallico, ne traversa le pareti, e finisce in due bottoni, co' quali si fan comunicare le armature del coibente armato ; s'intende da se che il filo riscaldato deve dilatare l'aria della palla, e questa spostare l'indice.

Il professore di Berlino à operato in diversi modi. Lasciando costante il circuito della batteria, e variando le dimensioni nel filo della palla termometrica, à dimostrato che

1.° *Il riscaldamento per un dato filo è in ragione di sua lunghezza, e in fili di dimensione diversa risponde alla quarta potenza de' loro raggi.*

Poscia tenendo costante il filo termometrico e variando il circuito della batteria à dimostrato, che

2.° *È inversamente proporzionale alla durata della scarica.*

Finalmente à scoverto, che se una scarica passa per un arco eterogeneo composto di fili aggiunti un dopo l'altro

3.° *Il calore sviluppato in ciascun filo risponde all'indebolimento, che la scarica soffrirebbe per ognun d'essi separatamente.*

In generale sperimentando su fili di natura e dimensione diversa si à, che il riscaldamento è in ragione della resistenza che essi oppongono alla scarica. Imperocchè più si riscalda un filo quanto più è lungo e sottile e men bene conduce l' elettrico.

Fusione e volatilizzamento. Se la scarica è poderosa, il riscaldamento può giungere a tale che il filo si fonda o anche si volatilizzi. Fu per altro idea di Franklin confermata poi dalle esperienze di Riess, che la fusione di scarica avvenga a temperatura inferiore a quella operata dal solo calore, e sia in parte dovuta ad una speciale maniera di divisione cagionata dall'elettrico.

Alle due palline dell'eccitatore universale (fig. 85) si leghi un

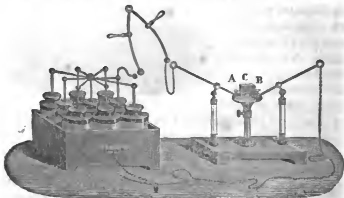


Fig. 85.

filo di gallone d'oro AB, il quale consiste in un cordoncino di seta, intorno cui si avvolge ad elica un nastro esilissimo di argento dorato: e aggiustatolo contro una carta C si faccia traversare dalla scarica di una batteria. In un istante il metallo si arrossa e sparisce: la seta rimane intatta, ma quello è proiettato sulla carta e vi forma una macchia color porpora carico.

Non occorre altro per intendere la esperienza celebre sotto il nome di *ritratto di Franklin*, con la quale s'imprime sopra un cartone, o un vetro, o una stoffa di seta il disegno che si vuole. Si so-

vrappone alla seta una carta ABC (fig. 86), su cui è delineato a traforo il ritratto: vi si stende sopra un foglio sottile d'oro, e piegati gli orli della seta A, C, si stringe tutto con un torchietto P (fig. 87), lasciando sporgenti gli estremi F, F′ del foglio d'oro da un lato e dall'altro. Comunicando questi con le armature della batteria, basta una sola scarica per avere la impronta del disegno di tinta violetta: la quale è dovuta all'oro estremamente diviso e non a un ossido, essendo l'oro tra i metalli che per solo calore vengono ripristinati dai loro ossidi.

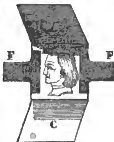


Fig. 86.



Fig. 87.

Pietre del fulmine. Anco i corpi cattivi conduttori per una potente scarica si fondono: così uno strato di sabbia si vetrifica. Di quì la origine delle *pietre del fulmine*, o di quei tubi semivetrificati, che talora s'incontrano dov'è caduto un fulmine e che Savart à riprodotti con le scariche artificiali.

Dilatazioni subitanee ne' liquidi. Ma allorchè la scarica invade i cattivi conduttori, la dilatazione è violenta, e si ànno gli effetti della scarica di rottura. Ad esempio si riempia d'acqua un tubo di vetro V (fig. 88), a cui si sono aggiustati con sughero due fili me-



Fig. 88.

tallici terminati colle palline *a*, *b*, poco discoste fra loro. Se l'estremo *c* di un filo si appressa al conduttore D ben carico, e l'altro filo tocca il suolo, il tubo di repente si frange. Riesce immancabilmente il fenomeno usando una batteria.

Termometro di Kinnersley. Questo strumento dimostra che lo stesso accade negli aeriformi. Esso consiste in due tubi di vetro V, K (fig. 89), d'ineguale diametro comunicanti fra loro, e sorretti da un medesimo piede. Nel maggiore si aggiustano a poca distanza fra loro due palline metalliche *a*, *b*; la seconda a contatto del

piede, la prima in comunicazione della ghiera che chiude esattamente l'orifizio. Or se ne' tubi si versa un liquido, appena fra le palline *a*, *b* scocca la scintilla, l'aria che si dilata lo spingerà fuori pel tubo K.

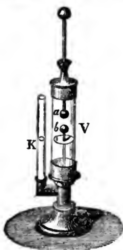


Fig. 89.

Mortaio elettrico. Effetto analogo si à col mortaio elettrico (fig. 90), il quale consiste in una specie di corto tubo AB di avorio o di vetro, le cui pareti opposte verso il fondo son traversate da due fili metallici terminati a palline. Appena fra queste scocca la scintilla d'una batteria, e l'aria nel dilatarsi spinge con impeto la pallina A aggiustata all' orifizio del mortaio. Vale meglio introdurre nella culatta B una goccia d'un liquido molto volatile, come alcole o etere, il quale nell' istante della scarica di presente si volatilizza.

70. Effetti luminosi. La scarica elettrica attraverso i coibenti divien luminosa allorchè raggiunge un determinato grado di intensità; e la luce che diffonde secondo le circostanze prende apparenza di fiocco, di stella, o di scintilla.

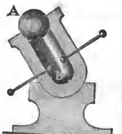


Fig. 90.


Fig. 91.

Fiocco e stella elettrica. Al conduttore della macchina si unisca a vite una punta alquanto smussata: su questa, se il conduttore è positivo e si opera al buio, si vede una specie di pennacchio luminoso, detto *fiocco elettrico* (fig. 91). Per l'ordinario è molto ristretto e di color violetto sbiadito: ma si sviluppa e diviene più brillante avvicinando la mano o una sfera metallica comunicante col suolo: in questi casi prende quasi forma conoidale, e s'inflette verso i corpi avvicinati e li tocca con la sua base.

Il fenomeno è dovuto all'elettrico che sfugge in copia per le punte; e più quando si aggiunge l' attrazione della elettricità opposta nel corpo che si appressa.

Se poi il conduttore è negativo, apparisce sulla punta un globetto immobile luminoso, la *stella elettrica*; ed è l'elettricità che accorre, la quale solo quando è abbastanza addensata spande luce.

Meno felice è la spiegazione delle differenze tra il fiocco e la stella nella ipotesi symmeriana, per la quale in ambo i casi si avrebbe il disperdersi d'una delle due elettricità e l'affluire dell'altra.

Scintilla. Se a un conduttore elettrizzato se ne appressa un secondo oltre un certo limite, l'elettrico si scarica apparentemente riunito con luce più o meno brillante; e costituisce la *scintilla*.

La *lunghezza* della scintilla, o altrimenti la *distanza esplosiva*, è dipendente da diverse condizioni, cioè dalla tensione, dalla densità del mezzo isolante, e dalla sua natura.

1. *La lunghezza della scintilla è nella ragione diretta semplice delle tensioni opposte senza alcuna influenza della capacità.*

Questa legge può dimostrarsi per mezzo dello *spinterometro* o *elettrometro di Lana* (fig. 92), il quale va applicato ugualmente ad un conduttore semplice o a una bottiglia. Poniamo una bottiglia A sovra una base C, e da un lato la colonna metallica D, sulla quale è scorrevole la verga BF entro una scanalatura graduata così, che la palla B con cui termina possa fissarsi a maggiore o minore distanza dal bottone A. Si scovrirà che come varia la tensione si cangia del pari la distanza esplosiva. Di questo elettrometro si può fare uso altresì per misurare la carica de' coibenti armati.

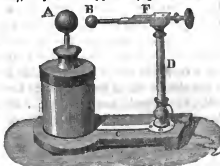


Fig. 92.

Veramente legge così semplice è vera solo quando gli estremi che si avvicinano ànno forma e dimensioni uguali: sarebbe ben altra cosa se ad una sfera si avvicinasse una punta o una superficie piana, come rilevasi dalla teoria dell'induzione.

2. *La distanza esplosiva, essendo costante la carica, è nella ragione inversa della densità del mezzo isolante.*

Harris scovrì questa legge, la quale si rende evidente coll'ap-

parecchio detto *uovo elettrico* (fig. 93). È un ellissoide di cristallo, entro cui penetrano a sfregamento nel senso dell'asse maggiore due verghe metalliche AB, CD aggiustate con cuoio e terminate all'interno in due sfere, che possono collocarsi a distanza variabile. Se per mezzo del condotto E si va togliendo l'aria dall'uovo con una macchina pneumatica, mentre l'anello B comunica col conduttore positivo, e l'anello D col suolo, si osserverà che rimanendo la stessa la tensione, la scintilla potrà scoccare a distanza doppia, tripla, quadrupla, con ridursi l'aria due, tre, quattro volte più rara. E ciò indefinitamente: ma l'apparenza del fenomeno si va cangiando per gradi. Nell'aria a densità ordinaria la scintilla è viva, bianca e riunita: nell'aria rarefatta man mano si sbiadisce e si spande com'è espresso nella figura; e fatto il vuoto non è più visibile che al buio, e prende forma di una luce diffusa violetta, che riempie non solo tutto l'uovo elettrico, ma anche un lungo tubo come quello della caduta de'gravi. Quest'ultima esperienza dicesi *aurora boreale* per la somiglianza con un maraviglioso fenomeno naturale di tal nome. Rientrando l'aria, si restringe la luce, fino a riapparire la scintilla.

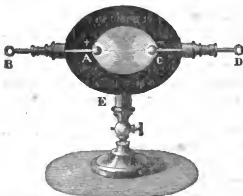


Fig. 93.

Vogliam notare che per solo cangiamento di temperatura quando non è accompagnato da rarefazione, come accade in un serbatoio chiuso, la distanza esplosiva non cangia.

3. *La distanza esplosiva è varia secondo la natura degli aeriformi senza influenza della loro densità specifica.*

Può verificarsi con uno o più strumenti analoghi all'uovo elettrico, riempiti con diversi aeriformi; e si trova che per una medesima tensione le palline interne debbono collocarsi a varia distanza per avere la scintilla. È chiaro che questa distanza esplosiva misura puranco il potere isolante de'diversi gas. Inoltre dimostrò

Faraday, che il potere isolante varia essendo positivo o negativo il conduttore elettrizzato, come segue:

Aeriformi	*conduttore* +	*conduttore* —
Aria	0,19	0,09
Ossigeno	0,19	0,02
Azoto	0,13	0,11
Idrogeno	0,14	0,05
Acido carbonico	0,16	0,02
Acido cloridrico	0,23	0,08

Men facilmente dunque si dissipa l'elettrico da un conduttore di quel che vi affluisca da' conduttori vicini. Tale maggiore tendenza all'equilibrio della elettricità negativa è stata pure dimostrata da Belli direttamente: è un fatto importante, ma, dobbiam confessarlo, nello stato attuale della scienza non si spiega adequatamente.

Il *camino* della scintilla è rettilineo se essa è corta; se è lunga diviene tortuoso, quale si osserva nel fulmine. S'inclina pure a' conduttori che si appressano, e sovente *si ramifica* presentando delle branche che si congiungono agli estremi.

Il *colore* della scintilla è vario secondo le circostanze.

1. La quantità di carica ne accresce sempre la intensità. A pari tensione la scintilla d'una batteria è bianca e senza paragone più viva di quella d'un semplice conduttore, che tende al violetto.

2. Dipende dalla natura del mezzo. Nell'aria è bianca, anche più nell'ossigeno, porporina nell'azoto, color cremisi nell' idrogeno.

3. Cangia con la natura del conduttore elettrizzato. Se parte da un conduttore di rame o argentato tende al verde: è bianchissima se dal mercurio, e rossa da parecchi semicoibenti come da un uovo e dal salgemma.

Quadro, globo, tubo scintillanti. Dovunque un conduttore è interrotto, colà scocca una scintilla. Di qui quella serie di graziosi ordigni che diconsi *scintillanti.* Ad esempio sopra una lastra di vetro (fig. 94) s'incollano parallele tra loro molte striscioline di foglia metallica in serie continua, che parta da un bottone isolato, e vada a terminare nel suolo: inoltre si segnino in essa de'minutissimi tratti così che le interruzioni di continuità rappresentino un disegno qualunque, e si avrà il *quadro scintillante;* perchè quante volte scocca una scintilla sul bottone, tutto il disegno si vedrà di presente illuminato.

Similmente si à il *globo* (fig. 95) e 'l *tubo* (fig. 96) *scintillanti*, incollando nel loro interno a spirale delle minutissime losanghe di stagnuola vicinissime fra loro ma senza toccarsi. Un capo parte da un bottone isolato, l'altro comunica col suolo. Appena su quello scocca la scintilla, e tutta la spirale in una volta si vede

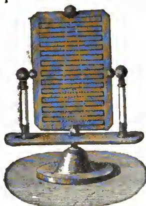


Fig. 94.



Fig. 95.

brillare di minute scintillette senza distinguere l'ordine in cui si seguono.



Fig. 96.

71. Durata della scintilla e della scarica. L'esperienza dei conduttori interrotti è interessante in quanto per essi ci si rivela la brevissima durata della scintilla e della scarica. Wheatstone nel 1834 sciolse questo doppio problema per mezzo del suo specchio girante. Esponiam brevemente la teoria, su cui è fondato il metodo di ricerca.

L'imagine d'un punto luminoso in uno specchio piano è sempre un punto quando lo specchio è immobile. Ma se lo specchio rota intorno al suo asse, la imagine sarà mobile anch'essa, e descrive-

rà un arco di cerchio avente il centro nell'asse di rotazione dello specchio, e contenente un numero doppio di gradi relativamente allo spostamento angolare dello specchio. Che se la velocità di rotazione dello specchio raggiunge un certo limite, in cambio d'aversi per imagine un punto descrivente un arco, si vedrà luminoso in una volta l'arco stesso; e ciò perchè la impressione sulla retina non è istantanea, ma dura un certo tempo, che suol reputarsi un decimo di secondo. Mentre dunque la imagine scorre nelle successive posizioni, perdurano nell' occhio le impressioni già fatte nelle posizioni precedenti, e tutto succede come se avvenisse simultaneamente ciò che si opera con successione. La cagione è la stessa del fenomeno che si osserva se si lega all'estremo d'una corda un corpo pesante, o operando al buio un carbone acceso, e con la mano che ne impugna l'altro estremo si obbliga la corda a girare: vedrassi un'area di cerchio nel primo caso, una circonferenza illuminata nell'altro, se si compie una rotazione intera in un decimo di secondo; si vedrà una mezz'area, o una mezza circonferenza, se in due decimi di secondo, e così di seguito.

Poniamo ora che il punto luminoso non isplenda di luce persistente. Se questa dura un solo istante, è chiaro, che comunque grande voglia supporsi la velocità dello specchio girante, la imagine sarà sempre un punto, come se lo specchio fosse immobile; poichè l'oggetto non è presente allo specchio che in una sola delle sue posizioni. Ma se la luce dura un tempo apprezzabile relativamente alla velocità dello specchio così da persistere mentre questo si trova in più posizioni successive, l'imagine d'un punto sarà pure un arco; e dalla misura di quest'arco e dalla velocità di rotazione dello specchio si potrà valutare la durata della luce del punto luminoso.

Ciò premesso, ecco i risultamenti di Wheatstone. Egli diè al suo specchio girante, che era di metallo con ambe le superficie riflettenti, una velocità di 800 giri al secondo; e trovò che la imagine d'una scintilla lunga $2^{mm}, 54$, parallela all' asse di rotazione e prodotta dalla scarica d'una bottiglia, era una fascia luminosa della medesima lunghezza, ma slargata trasversalmente da occupare un arco di 24°. La scarica luminosa fu dunque presente allo specchio mentre esso soffrì lo spostamento angolare di 12°. Or con la velocità di 800 giri al $1''$ lo specchio in $1''$ descrive un numero di gradi espresso da 360×800, e quindi il tempo richiesto

a percorrere 12° sarà la frazione di 1″ uguale a $\frac{12}{360 \times 800} = \frac{1''}{24000}$.

Adunque la scintilla ebbe durata di $\frac{1}{24000}$ di secondo.

Ripetendo poi la medesima esperienza con la scintilla tratta direttamente dal conduttore della macchina, non gli fu mai possibile vedere il più piccolo slargamento; non avea dunque una durata sensibile al suo strumento, sebbene questo potesse indicare sinanco $\frac{1}{1152000}$ di secondo. Nè altrimenti è accaduto dando allo specchio velocità di fino a 2000 giri al secondo.

Di qui è che illuminando al buio con la scintilla d'un semplice conduttore quei corpi, che pel loro rapido moto si presentano sfigurati, come una corda o una lamina vibranti, una vena liquida, una ruota, essi mostrano la propria forma come se fossero assolutamente immobili. Calcolando la velocità della corda, della lamina, della ruota, e variandone le dimensioni, dal vederle costantemente immobili, si giunge ad assegnare un limite, di cui certamente è minore la durata della scintilla.

Durata della scarica nei buoni conduttori. Lo specchio girante nelle mani di Wheatstone valse altresì a scovrire la durata della scarica di conduzione. Valenti fisici del secolo scorso tentarono questa ricerca: la più notevole esperienza in questo genere fu eseguita da Watson nel 1748. Il quale isolò perfettamente due fili di ferro aventi ciascuno una lunghezza di 1872 metri; poi appressata una estremità d'un filo all'armatura esterna d'una bottiglia carica, ed una estremità dell'altro filo all'armatura interna, egli impugnava le altre due estremità colle mani. È chiaro che nell'atto della scarica si vedevano due scintille presso le due armature, e Watson provava una scossa. Or non gli fu mai possibile avvertire differenza di tempo tra le scintille e la commozione. Perciò si ritenne che il tempo impiegato dalla scarica in percorrere i buoni conduttori fosse un istante impercettibile, o al certo minore di quel che gli strumenti potessero indicare.

Ecco ora come Wheatstone condusse l'esperienza. Isolò sei palline di rame (fig. 97) sopra un disco di legno disposte secondo un suo diametro e distribuite in tre gruppi: riunì le palline 1 e 2, 3 e 4, con due fili di rame lunghi ciascuno 400 metri e del diametro di 1,^{mm}7, mentre le due palline rimanenti 5 e 6 comunica-

vano con le armature interna ed esterna d'una bottiglia carica. Le palline 1 e 6, 2 e 4, 5 e 3 erano a distanza scambievole di 2,^{mm}54, e la retta che ne univa i centri parallela all'asse di rotazione dello specchio che compiva 800 giri al 1''. Ciò posto è chiaro che la scarica dovea avvenire con tre scintille in linea retta. Or se ne guardi le imagini nello specchio girante, esse ti si presentano non come tre punti, ma pari a tre lineette o a tre archi disposti come nelle fig. 98 o 99, secondo che lo specchio volgesi per un verso o per l'opposto; e assolutamente mai come nelle figure 100 e 101.

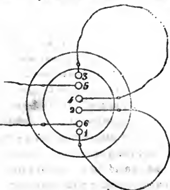
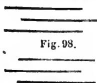


Fig. 97.

La forma di linea si deve alla durata della scintilla, come è detto; ma la disposizione delle imagini dimostra che le due scintille estreme tra le palline 1 e 6, 3 e 5 sono contemporanee, e che


Fig. 98.

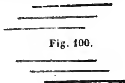

Fig. 100.


Fig. 99.


Fig. 101.

quella tra le palline medie 2 e 4 è in ritardo riguardo alle precedenti. Val quanto dire l'elettrico non traversa tutta la lunghezza del filo conduttore dall'armatura positiva alla negativa, ma percorre contemporaneamente i fili tra le palline 1 e 2, 3 e 4 andando dall'armatura positiva alla pallina contigua, e sull'armatura negativa dalla corrispondente pallina: e finalmente scocca la scintilla tra le palline medie. Ciò è conforme a quanto abbiamo esposto sulla induzione, che precede la scarica.

Nell'esperienza di Wheatstone la imagine media si sposta di mezzo grado, che corrisponde al tempo impiegato dallo specchio per volgersi d'un quarto di grado, ossia alla frazione $\frac{1''}{4 \times 360 \times 800}$; questo dunque è il tempo in cui la scarica della bottiglia percorre

un filo di rame grosso 1,^{mm} 7 e lungo 400 metri; il che importa velocità di 460800 chilometri al 1''.

Questa velocità di propagazione è indipendente dalla tensione della sorgente elettrica, ma è oltremodo varia con la natura de' conduttori percorsi. Il ritardo della scintilla diventa gradatamente maggiore sostituendo al filo di rame un metallo men conduttore; e così si passa quasi per una serie non interrotta dai buoni conduttori ai cattivi, da questi agl' isolanti.

72. **Effetti fisiologici.** L'azione dell'elettricità statica sugli esseri organizzati restrignesi ai soli animali; poichè ò sperimentato essere nulla la influenza su i vegetali in quanto al più pronto germogliar de' semi e crescere delle piante, come da parecchi fisici era stato asserito.

La scarica sugli animali produce un doppio effetto, uno scuotimento cioè e una sensazione. Abbiam detto come si ebbe la scossa la prima volta, ed a quale grande scoverta diede occasione (62). Da quel giorno sì maraviglioso esperimento fu ripetuto da per tutto, e l'Abbate Nollet scuoteva in Versailles alla presenza di re Luigi XV più centinaia di persone insieme. Per avere la commozione con un coibente armato in una parte del corpo fa d'uopo che essa faccia parte d'un circuito chiuso tra le due armature; s'impugni ad esempio con una mano l'armatura esterna della bottiglia carica, e con l' altra si tocchi il bottone comunicante con la interna. La scossa è sempre più forte nelle articolazioni, dov'è minore la massa muscolare che conduce abbastanza bene, e maggiori le parti ossee e tendinose che conducono male; e però la massima parte della scarica invade colà i filamenti nervosi. Se la bottiglia è ben carica e l'armatura esterna comunica col suolo, si riceve la scossa anche toccando con una mano l'armatura interna, senz' altro: il circuito è chiuso mediante la terra.

Se più persone tenentisi per mano chiudono il circuito, o *fan catena*, come dicesi, mentre quei che sono agli estremi toccano l'uno l'armatura esterna, l'altro la interna, si scuotono tutti a un tempo, ma non ugualmente, poichè parte dell'elettricità, che traversa quei che sono agli estremi, si dissipa pel suolo: non così se fossero isolati. Se la catena è interrotta la scossa non giunge agl' individui del centro; presso le armature si risente ma debole per la cattiva conducibilità del suolo.

Allorchè una scarica relativamente forte traversa un animale

l' uccide. Non è facile definire come questo avvenga ; poichè delle volte assai non si osserva nell'animale così fulminato lesione o stravaso o lacerazione di sorta; e siam costretti ritenere che in questi casi l'elettrico invada l'elemento delle funzioni nervose, e l' affievolisca sino a renderlo inattivo.

Inoltre ogni senso à la sua speciale impressione dalla scarica. Una scintilla cagiona la sensazione dolorosa simile a una puntura; se una tenue scarica si riceve sul bulbo dell'occhio chiuso o sulle parti contigue,si à sensazione di luce: si prova un sapore speciale se sulla lingua. Volta si fè passare la scarica d' una bottiglia da un orecchio all'altro , e sentì un forte e prolungato suono : non volle ripetere l'esperimento per tema della scossa al cervello. Fu più coraggioso il Pianciani, e ne perdè un orecchio.Finalmente in vicinanza della macchina elettrica in azione si sente un odore speciale, che mal si somiglia a quello del fosforo o dello zolfo: si opinò da principio fosse dovuto a questi corpi trasformati in vapore; poscia si credè proprio d'un nuovo corpo semplice detto *ozonò* da Scoenbein; e finalmente si è dimostrato che il tramanda l'ossigeno elettrizzato.

73. Effetti meccanici. Vanno in questa categoria tutt' i fenomeni di movimento prodotti dall' elettrico , sovrattutto nella scarica di rottura.Ne abbiam citati molti esempi (69), ma fa d'uopo studiarne degli altri. In generale una forte scarica, se si fa strada attraverso un coibente , il frange. Così Priestley immerse in resina fusa una catenella metallica , ed estrattanela ne mise gli estremi in comunicazione con le armature d' una bottiglia mediante l' eccitatore universale: nell' atto della scarica la catenella si spogliò della resina, che venne lanciata in distanza.

Foravetro. Tra due fili metallici A, B (fig. 102) ridotti in punta si colloca una lastra di vetro C bene asciutta : un d' essi per una catenella comunica coll' armatura negativa , l' altro con la positiva: pel passaggio della scarica il vetro rimane forato. È più sicuro l'effetto ungendo d'olio le punte, o masticiandole entro cilindri resinosi incollati sulla lastra , per impedire la scarica laterale.

Foracarta. Si disponga pure una carta più volte piegata sopra se medesima tra le punte metalliche A, D (fig. 103), separate da un cannello isolante C ; se la superiore per l' appendice B comunica con l'armatura positiva, e l'inferiore per mezzo della catenella E con l'armatura negativa d'una bottiglia che si scarica, la car-

ta resta forata; e le barbe che si formano all' orlo sollevansi ora da un lato or dall' altro , e sovente in una volta da entrambi. In quest'ultimo fatto io non trovo già un argomento a favore dell'una o dell' altra delle due ipotesi elettriche , come alcuni àn travedu-to, sì bene veggo chiara la maniera con la quale l'elettrico cagio-na i fenomeni meccanici. Non è al certo una spiuta impressa dalla elettricità, come ci persuaderebbe l'analogia co' corpi ponderabili:

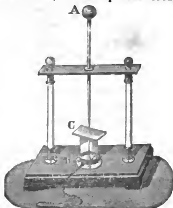


Fig. 102.

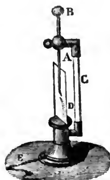


Fig. 103.

ma tutto si riduce a ripulsione tra le parti d' un corpo similmente elettrizzate, e con tale intensità da superarne la coesione.

Trasporto di materia ponderabile. Anche a questo modo va spie-gato il trasporto di massi enormi operato dal fulmine. Ad esempio quello, che cadde nel 1754 sulla torre di Newbury degli Stati U-niti di America, lanciò una piramide alta 21 metro a molta distan-za. Nè v'è da maravigliarne; non trovandosi differente relazione tra l' immenso torrente elettrico che costituisce il fulmine e le moli che trasporta , di quella v' è tra le piccole scariche artificiali e le palline che vediamo agitarsi per esse.

Non è così del trasporto in virtù del volatilizzamento pel calore prodotto dalla scarica. Fusinieri, fatta passare la scarica di potente batteria tra una palla d'oro e una d'argento, ebbe a trovare argen-tata la prima , dorata la seconda ne' punti tra i quali scoccò la scintilla. Da ciò si rileva come resti modificato il colore della scintilla a norma de' differenti corpi tra cui passa.

74. Effetti chimici. Il passaggio della scarica determina sintesi e analisi.

Sintesi. In quanto alle sintesi tutt'i corpi facilmente accensibili bruciano con una sola scintilla. Così alcole o etere versati in uno scodellino metallico (fig. 104), che comunica coll'armatura negativa d'una bottiglia, di presente s' infiammano appena ricevono scintilla dal bottone positivo. All'istesso modo si accende l'aria tonante nell'ordigno denominato *pistola di Volta*. Ed è una bottiglia metallica D (fig. 105), nella quale penetra un filo metallico isolato con mastice entro un cannello di cristallo, e terminante in due palline, una A di fuori, l' altra B di dentro dappresso alla parete. Or se in questa bottiglia introducasi un miscuglio d'idrogeno e ossigeno presso a poco nelle proporzioni in cui formano l'acqua, e poi si chiuda con turacciolo di sughero, in avvicinare la pallina A (fig. 106) al conduttore della macchina vi scocca una scintilla, e un'altra pure tra la pallina B e la parete; il

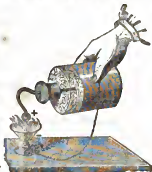


Fig. 104.



Fig. 105. Fig. 106.

miscuglio detona e 'l turacciolo è lanciato via con forza. Se la pistola è di cristallo a pareti resistenti si vede a un tratto illuminata.

Se si fanno passare molte scintille in provetta con un miscuglio di ossigeno e azoto sull'acqua, vi si forma dell'acido azotico; d'onde si è tratta la spiegazione della presenza di azotato d'ammoniaca nelle piogge temporalesche.

Analisi. Relativamente alle analisi, fin da' suoi tempi Priestley scomponeva l'ammoniaca in azoto e idrogeno facendola traversare da copiose scintille; e Beccaria similmente ridusse parecchi metalli dai loro ossidi, e scompose il solfuro di mercurio.

Wollaston giunse a scomporre l' acqua e 'l solfato di rame a questo modo: covrì di gomma lacca un filo esilissimo di argento, poscia il divise in due, e messili in comunicazione con i due conduttori di una macchina alla Nairne , gl' immerse nell'acqua vicinissimi tra loro : delle bollicine gassose annunziarono la scomposizione dell'acqua. Similmente immergendo i due fili in soluzione di solfato di rame, vide rame sulla punta negativa : e invertite le comunicazioni de' fili co'conduttori, il rame depositatosi sparve, e osservossi invece sull'altra punta.

È oltremodo sensibile la virtù della scintilla nell'analisi del ioduro di potassio. Si adatta a tal uopo sopra lastra di vetro una piccola losanga di carta bibula insuppata con soluzione di ioduro di potassio , e messone un estremo in comunicazione col suolo si fa cadere una serie di scintille sull'altro; non tarderà molto e appariranno delle macchie brune di iodo.

Effetti complessi. Vi sono alcuni fenomeni prodotti dall'elettrico, che ben si possono dire effetti complessi ; in quanto che son dovuti non solamente ad azioni chimiche, ma pure al calore e forse al trasporto cagionati dalla scarica. Così se per una lastra metallica netta e splendente si fanno passare molte scariche e poderose , ponendola tra le due punte dello scaricatore universale , o anche facendovi scoccare sopra parecchie scintille, si avranno gli *anelli di Priestley* ; che sono tanti cerchi concentrici colorati dovuti a fusione, a ossidazione, e a trasporto.

Altrettanto dee dirsi delle *figure* ottenute da Riess e Karsten analoghe a quelle di Moser. Si pone una medaglia su lastra di vetro, e poi si fa scoccare su quella una scintilla: tolta allora la medaglia e alitando sul vetro vi si vedrà riprodotto il disegno. Sembra dovuto il fenomeno ad alterazione del vetro, il quale ne'punti affetti dalla scarica acquista virtù conduttrice.

ALTRE SORGENTI DI ELETTRICITÀ STATICA.

75. **Calore.** Vi sono delle sostanze cristallizzate , che per calore si elettrizzano , e perciò si chiamano *termo-elettriche.*

Gl' indiani del Ceylan da tempo remotissimo conoscono che un minerale da essi detto *tournamal*, da noi *tormalina* , ed è un silicato d' allumina con altre basi variabili, gettato nel fuoco ne attira le ceneri. Lemery il primo nel 1717 scoprì che questo fatto era

dovuto ad elettricità svolta per riscaldamento. Poscia valenti fisici trovarono la stessa virtù in parecchi altri minerali, e variando le sperienze devennero alle conseguenze qui esposte.

1. Una tormalina riscaldata si elettrizza così che agli estremi prende le elettricità contrarie, le quali diminuiscono andando verso il mezzo, dove s' incontra una sezione neutra. Se invece di riscaldarla si raffreddi, o se dopo averla riscaldata si lasci tornare alla temperatura dell'ambiente, si mostra pure elettrica per raffreddamento ma con polarità opposte.

2. Se una sola metà della tormalina si riscaldi o si raffreddi, in questa soltanto si avranno i segni elettrici; e se mentre si riscalda una metà si raffreddi l' altra, tutto il cristallo presenterà tensione omogenea senza polarità.

3. Se dividesi in due una tormalina elettrizzata, ciascuna porzione presenta la polarità elettrica; e lo stesso si avvera protraendo la divisione indefinitamente. Ciò dimostra che la polarità delle tormaline è un fenomeno molecolare; e venne confermato da Brewster col seguente esperimento. Ei ridusse con la triturazione in minuta polvere un cristallo di tormalina, e versatala sopra una lastra di vetro, si accorse che le aderiva quando questa veniva riscaldata: e procurando di ammassar la polvere con un corpo qualunque, i suoi granelli si attaccavano a questo e fra loro come la limatura di ferro sopra una calamita.

4. Non la sola tormalina ma parecchi altri cristalli naturali e artificiali godono del potere termo-elettrico; ad esempio *topazio, mesotipo*, *boracite*, *calamina*, *sfeno*, *ascianite*, *prenite*, *zucchero*. Tutti essi ànno un carattere comune, cioè non osservano le leggi di simmetria: val quanto dire le loro estremità polari non sono egualmente modificate.

5. V' à due limiti di temperatura massima e minima, variabili per le varie specie di cristalli, tra cui questi presentano i fenomeni elettrici.

6. I poli d'un cristallo termo-elettrico possono trovarsi non solo agli estremi, ma anche nell'interno; ossia v'à de'cristalli a *poli terminali* e degli altri a *poli centrali*: van noverati nella prima serie la tormalina e la boracite, nella seconda il topazio e la prenite.

7. La polarità elettrica eccitata in un cristallo per cangiamento di temperatura persiste più o men lungamente a norma del suo vario grado di forza conduttrice per l' elettrico. Di quì è che la

tormalina perchè migliore isolante la ritiene più del topazio, e nello zucchero assai prestamente sparisce.

In quanto poi al modo di sperimentare per verificar questi fatti si possono usare differenti metodi. Ad esempio si può bilicare una tormalina sopra una punta, e si determina la tensione degli estremi avvicinando alternamente due bastoncelli di vetro e di ceralacca strofinati. Impiegasi anche con vantaggio l'elettroscopio di Hauy a spato d'Islanda. Ma io soglio valermi da venti anni del seguente apparecchio descritto anche da Becquerel, che rende sensibile la inversione de' poli col cangiamento opposto di temperatura. Sur una lastra metallica sorretta da un treppiede è poggiato un tubo di cristallo, entro cui vien sospesa orizzontalmente pel suo mezzo una tormalina per difenderla dall'agitazione dell'aria: a' suoi lati vi sono due palline metalliche isolate e comunicanti co' poli opposti di due pile a secco del Zamboni (84). Or se con lampada a spirito si scalda la lamina, la tormalina volge i suoi poli alle palline oppostamente elettrizzate; e togliendo la lampada, dopo alquante oscillazioni compie mezza rotazione e distendesi inversamente: ritorna come prima se si scalda di nuovo.

76. **Azioni chimiche.** Le sintesi e le analisi chimiche sono valevoli a svolgere elettrico. È un principio proposto dal valente italiano Fabbroni, e poi confermato da fisici posteriori. A noi basterà recarne le dimostrazioni più convincenti.

1. *Azioni tra i metalli e le soluzioni acide.* Sul piatto del condensatore si poggi uno scodellino di platino con entrovi dell'acido azotico: poscia s'immerga nel liquido un estremo di una lamina di zinco che si tiene tra le dita per l'altro estremo, ma senza che tocchi il platino: operando con accuratezza si trova che il platino è elettrizzato positivamente. Se per converso si pone sul piatto del condensatore la lamina di zinco, di cui una estremità sporgente da un lato è immersa nell'acido dello scodellino sorretto dalla mano, nel sollevare il piatto del condensatore si osserva che lo zinco è negativo. Variando così i due metalli come il liquido, Becquerel pervenne a scovrire la seguente legge:

« Se due metalli sono a contatto d'un medesimo liquido, il quale esercita azione chimica sopra un solo di essi, il metallo attaccato dal liquido divien negativo, l'altro positivo. Se entrambi soffrono azione chimica dal liquido, ma inegualmente, il metallo più attaccato divien negativo, positivo il compagno. Se è pari l'azione chimica su di entrambi, nessun d'essi si mostra elettrizzato. »

2. *Combustione.* Volta avea dimostrato che in quelle combinazioni chimiche, cui diam nome di combustione, il combustibile divien negativo, e l'altro elemento positivo. Pouillet à sperimentato sul carbone e sull' idrogeno. Al piatto del condensatore à sovrapposto un carbone acceso: dopo breve tempo alzando il piatto à trovato il condensatore negativo. Essendo poi il carbone acceso in comunicazione col suolo, e andando a contatto del piatto del condensatore i gas prodotti dalla combustione del carbone, ne avea segni d'elettricità positiva. Era più forte la tensione se più viva la combustione, allorchè per esempio l' attivava con una corrente di ossigeno. Nell' istessa guisa accese il getto d' idrogeno che veniva fuori d' un serbatoio attraverso un cannello metallico: ponendo il cannello in comunicazione col condensatore il trovò negativo; e quando il cannello comunicava col suolo, e una spirale di platino avvolta intorno alla fiamma toccava il condensatore, il rinvenne positivo.

Dobbiam notare però che recenti sperienze di H. Buff c'indurrebbero ad attribuire tali fenomeni a cagione termica piuttosto che all'azione chimica della combustione.

3. *Combinazione di due liquidi.* Sovra un sostegno isolante si collochino due scodellini di platino l'uno accanto all'altro, e si versi un acido nel primo, e nel secondo una soluzione di potassa, o di soda, o di barite, o di un ossido qualunque: si faccian poi comunicare tra loro i due liquidi per mezzo di fili di amianto o di cotone che pescano in quelli, o anche mediante un tubo di vetro a sifone con acqua. Or se lo scodellino col liquido acido tocca il piatto del condensatore, e l'altro il suolo, si avran da quello segni di elettricità positiva nell' atto in cui i liquidi si combinano; e viceversa i segni saranno di elettricità negativa se lo scodellino dell' ossido comunica col condensatore, quello dell'acido col suolo.

Similmente se i due liquidi comunicano fra loro com' è detto per mezzo dell' arco liquido, e inoltre si pone a cavalcione sugli scodellini una rana preparata alla Galvani con le due zampe immerse separatamente ne' due liquidi, si vedrà scuotere la rana nell'atto in cui i liquidi verranno a combinarsi.

4. *Separazione d'un aeriforme.* Volta scovrì che la trasformazione in vapore dell'acqua non distillata è sorgente d'elettrico. Pouillet sovrappose al piatto dell' elettrometro-condensatore un crogiuolo di platino fatto rovente, e versatavi entro una soluzione ac-

quosa d'un acido o d'un sale, trovò carico l'istrumento d' elettricità negativa; la quale è da attribuire senza fallo al rapido trasformarsi dell'acqua in vapore separandosi dall' acido o dal sale che restano sul crogiuolo. Raccogliendo invece la elettricità del vapore acqueo che si solleva, la rinvenne positiva. Che se nel crogiuolo si versa una soluzione alcalina, si trova negativo il vapore, e positivo l'alcali che resta nel crogiuolo.

Da ultimo per le esperienze di Peltier verrebbe dimostrato, che allora solamente i vapori rinvengonsi elettrizzati quando nel formarsi si separano da una combinazione, come ne' casi studiati da Pouillet. Il vapor d'acqua che si svolge da una soluzione non darebbe segni elettrici, sibbene quello che ottiensi allorchè un sale idrato diventa anidro. Pure io non so allontanarmi dalla opinione di Volta ; e giudico che le due operazioni opposte *evaporazione*, e *condensazione* del vapore sieno cagioni potenti a svolgere elettrico.

77. **Contatto.** Il contatto indipendentemente da altra cagione meccanica o fisica o chimica vale a sviluppare elettricità.

Sperienze di Sulzer e di Cotugno. Il filosofo svizzero Sulzer accademico di Berlino nel 1767 annunziò, che se di due lamine metalliche ne collochi una sotto la lingua e un'altra sopra, nel venire a contatto fra loro le due estremità sporgenti in fuori, proverai un sapore piccante e vario secondo la natura de' metalli. E nel 1784 il nostro celebre Domenico Cotugno nel dissecare un topo vivo osservò, che in toglier la pelle dell' epigastrio il topo agitò vivamente la coda tra le due dita annulare ed auricolare della sinistra mano dell'operatore , il quale ne sentì scosso il braccio infino al collo con fremito interno e forte scuotimento anche del capo.

L' esperienza però del Sulzer, ch'è certamente connessa all'argomento che trattiamo, passò non avvertita; e sembrami argomento ben forte contro quella del Cotugno che da quel tempo non abbia potuto essere mai più da alcuno ripetuta !

Sperienze di Galvani. Nel 1791 l'illustre anatomico Luigi Galvani professore all' Università di Bologna pubblicò la sua opera *sulla forza dell' elettrico nel moto muscolare.* L'uomo di genio lavorava già da alquanti anni a dimostrare sperimentalmente alcune sue vagheggiate teorie sul *fluido nerveo*, e sull' *elettricità nativa animale.* A tal fine tolta via ad una rana d'un colpo la testa e le zampe anteriori, e scorticatala, metteva a nudo i nervi crurali, e quindi recideva a metà la spina dorsale così, che da un pezzetto

pendesse per mezzo de'nervi crurali la metà posteriore dell'animale. Questa è la così detta *rana preparata alla maniera di Galvani*. Or mentre una rana così disposta pendeva da un uncinetto di rame, gli avvenne vederla contorcere per la scarica dell'elettrico artificiale, come altrove è detto (54.6°). Volendo allora sperimentare quale fosse l'effetto della elettricità naturale dell'atmosfera, sospese la rana per l'uncinetto di rame alla ringhiera di ferro della sua terrazza. E si avvide che, quante volte le zampe della rana agitata dal vento toccavano il ferro della ringhiera, l'animale si contorceva, ma senza influenza della elettricità atmosferica. Imperocchè o all'aria libera o nel suo gabinetto potè ripetere il fatto a piacere toccando e premendo con verga di ferro da un lato la coscia della rana, l'uncinetto di rame dall'altro; il che valeva altrettanto quanto toccare con un arco eterogeneo di due metalli muscolo e nervo.

Il sommo uomo sulle prime accertossi gli scuotimenti esser dovuti ad elettricità; perchè mancarono costantemente introducendo nel circolo delle sostanze coibenti. Si aveano poi variando comunque i metalli, purchè il circolo fosse chiuso; ed erano immancabili e più forti se la comunicazione si stabiliva con un arco eterogeneo, più deboli e talvolta nulli se con arco d'un metallo solo.

La maniera di sperimentare, che più si avvicina al primo fatto di Galvani, sarebbe sospendere la rana pe' nervi crurali a un'asta di rame N, e poi toccare quest'asta e la coscia con verga di ferro; o pure i nervi insieme e la coscia con arco eterogeneo qualunque RZ, ad esempio metà rame, metà zinco (fig. 107). Si distenda anche la rana su lastra di vetro : sarà eccitata invano premendola con sostanze coibenti,



Fig. 107.

e si vedrà contrarre stimolandola con arco metallico. Finalmente accadrà il medesimo se dispongasi la rana sull'orlo di due bicchieri con acqua salsa o acida o alcalina, in maniera che il pezzetto di spina peschi nel liquido d'uno,le zampe nell' altro, o pure una coscia nel primo, l' altra nel secondo, ed immergendo pure ne' due liquidi gli estremi d'un arco metallico senza che tocchino l'animale

Da tutti questi fatti, e sovrattutto dal pensare si richiedesse assolutamente il contatto tra muscolo e nervi per avere le contrazioni, Galvani qual distinto fisiologo vide chiara la esistenza d'una elettricità animale. Opinò che la esterna parte della fibra muscolare fosse elettrizzata negativamente, e positivamente la interna, della quale il nervo operasse da conduttore; e che nel contatto di entrambe con l'arco metallico succedesse una scarica, donde la scossa della rana. Nella quale opinione allora maggiormente si fissò,quando il dottor Eusebio Valli nel 1795 ebbe scoverto aversi le contrazioni nelle rane più eccitabili e rapidamente preparate senza l'arco metallico col porre immediatamente a contatto il tendine co'nervi sciatici.

Quanto Galvani asseriva era verissimo materialmente, non già formalmente, in quanto i suoi argomenti non valevano a persuaderne gli oppositori, ed ei fu costretto tacersi.

Volta, forza elettromotrice. Tanto nuovi esperimenti eccitarono l'entusiasmo di Alessandro Volta di Como insigne professor di fisica in Pavia; ei li ripetè e confermolli, e ne ammise la cagione nella elettricità animale, sol che volle nella esterna superficie del muscolo l'elettrico in eccesso, e il difetto nella intima sua sostanza a cui corrisponde il nervo. Ma poi riflettendo alla condizione richiesta per le contrazioni, che l'arco fosse eterogeneo o chimicamente o fisicamente ; val quanto dire che dovea esser formato di due metalli diversi, o se dell' istesso metallo facea mestieri presentasse una qualche differenza negli estremi, ad esempio, di temperatura, di forbitezza, e simili ; e inoltre poggiandosi sovra diretti sperimenti,cangiò avviso man mano; e finalmente nel 1798 proclamò solennemente il suo generale principio della *elettricità di contatto*, e della forza *elettromotrice.* Con esso la opinione di Volta diventa del tutto opposta a quella di Galvani. Galvani riponeva nell'animale la sede dell'elettrico, del quale l'arco metallico era un semplice conduttore. Volta riconobbe nel contatto de'metalli la forza di *dar mossa all'elettrico* (è sua espressione), il quale

ritorna all' equilibrio attraverso l'animale che si scuote. La disse *forza elettromotrice*. Essa è più valida tra i metalli e negli altri migliori conduttori, ch'ei chiamò di *prima classe*; ma esiste pure, sebbene incomparabilmente minore, nei liquidi, nelle sostanze animali, e ne' conduttori umidi, ch'egli nominò di *seconda classe*. Quello tra i due corpi a contatto, che à più valida la forza elettromotrice, spinge il suo elettrioo nel secondo: con ciò il primo diventa negativo, l'altro positivo. Da ciò s'intende che la forza elettromotrice si oppone alla forza conduttrice: dalla relazione fra esse dipende la tensione finale de' corpi a contatto.

Sperienza fondamentale. Volta alle tante sperienze una poi ne aggiunse che vale per tutte, e a ragione si disse *fondamentale*; nella quale due metalli a contatto senza intervento di sostanza animale si caricano delle due opposte elettricità.

Infatti si porti a contatto del condensatore, che supponiamo di rame o di ottone, una laminetta di zinco, e quello darà segno di elettricità negativa; il rame dunque avrà ceduta la sua elettricità allo zinco. Al contrario se il condensatore è di zinco, dopo toccatolo con laminetta di rame si trova carico di elettricità positiva. Abbiansi anche due dischi, uno di rame, l'altro di zinco, muniti d'impugnature isolanti: se lasciansi a contatto qualche istante e poi si separano, si troverà negativo il rame, positivo lo zinco. Finalmente perchè non dallo strofinio si potesse ripetere l' elettrico come altri gli oppose, ma dal solo contatto, Volta saldò insieme i due metalli formando una striscia metà rame, metà zinco, e ne ebbe a puntino i medesimi risultamenti al condensatore.

78. **Leggi della forza elettromotrice.** Variando esperienze Volta à potuto disporre i conduttori secondo questa serie:

biossido di manganese, carbone, grafite, oro, argento,
rame, ferro, piombo, mercurio, stagno, zinco,

nella quale à scoverto le seguenti leggi:

1.ª I conduttori che precedono sono negativi accoppiati a quelli che seguono, e quanto più distano nella serie tanto è maggiore la differenza di loro tensione.

2.ª La forza elettromotrice tra due conduttori comunque disposti nella serie pareggia la somma di tutt' i gradi intermedi. Così poniamo che la forza di spinger l'elettrico dal rame al ferro sia 4, dal ferro allo stagno sia 3, e dallo stagno allo zinco sia 2; sarà 9 la forza elettromotrice dal rame allo zinco.

3.ª La differenza di tensione in una coppia rimane costante sebbene i due conduttori ricevano altra carica in più o in meno. Ad esempio rappresenti 2 la differenza di tensione tra rame e zinco. Se entrambi sono isolati, avremo

rame — 1, zinco + 1;

se il rame comunica col suolo e lo zinco è isolato, o viceversa, sarà

rame 0, zinco + 2; o pure zinco 0, rame — 2;

se finalmente comunico a entrambi una tensione qualunque positiva o negativa, per esempio 4, avrò

rame 3, zinco 5; o pure rame — 5, zinco — 3.

Non possiam finire di maravigliarci, come il Volta sia giunto a tutte le conseguenze esposte usando l' elettrometro condensatore, o pure valendosi del sapore acido o alcalino generato da'metalli sulla lingua, o dello scuotimento della rana. Attualmente si dimostrano agevolmente ed a maggior rigore con più acconci strumenti.

LIBRO NONO

ELETTRODINAMICA

CORRENTE ELETTRICA E PILA A COLONNA.

79. Genesi della corrente elettrica. Il Volta nella sua esperienza fondamentale si avvide che, impiegando la coppia di due metalli saldati, quante volte tenendo il rame tra le dita toccava con lo zinco il piatto di rame del condensatore, nel sollevare il piatto le laminette dell' elettrometro mai non divergevano. Nè può essere altrimenti. Imperocchè il rame del condensatore non può ricevere la tensione positiva dello zinco, procedendo l' elettrico non dallo zinco al rame, sì bene dal rame allo zinco. Nè può diventare negativo spingendo la sua elettricità nello zinco; mentre in questo caso lo zinco della coppia trovasi tra due elementi rame, l' uno tenuto fra le dita, l' altro isolato; e prende elettrico piuttosto dal primo, il quale lo riceve di nuovo dal suolo e ritorna a stato naturale. Ma quando, applicato sul piatto di rame del condensatore un pezzetto di carta o di panno bagnato con soluzione acida o salina, ei poggiava su questo lo zinco della coppia tenendo pure il rame tra le dita, il rame del condensatore si caricava di elettricità positiva. Con ciò venne a scovrire la funzione che esercitano i conduttori di seconda classe in contatto de' metalli. La loro forza elettromotrice è sì tenue, che operano da semplici conduttori. Di quì è, che se due conduttori di prima classe sono a contatto da un lato, e comunicano dall'altro per mezzo di un conduttore di seconda classe, mentre per un verso l' elettrico soffre sbilancio, per l'altro tende all'equilibrio.

Questa è l' origine della *corrente*, la quale immaginiamo consistere nel *passaggio continuo dell'elettrico*; e si distingue dalla scarica della elettricità di strofinio in quanto la cagione che dà mossa all'elettrico nella corrente è diuturna, e così pure il flusso della e-

lettricità, mentre con la scarica dell'elettrico di strofinio tutto ritorna all'equilibrio in brevi istanti.

Abbiasi dunque un arco eterogeneo, R Z, ad esempio di rame e zinco (fig. 108, i cui capi pescano nel liquido acido o salino della vasca M. Si avrà una corrente, che va perennemente per l'arco metallico dal rame allo zinco, e pel liquido dallo zinco al rame.

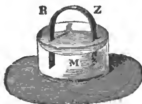


Fig. 108.

Volta scovrì aversi pure corrente con quella coppia, ch' egli chiamò *di second'ordine*, e si compone d'un conduttore di prima classe, e due liquidi.

80. Elettromotore composto: pila a colonna. Il principio dell'azione de' conduttori umidi fu ferace nella mente creatrice del fisico di Como, e dopo 4 anni, cioè dall'està del 1797 alla fine del 1799 il condusse alla costruzione dell' *elettromotore composto*, ossia alla più maravigliosa scoverta e più ricca di conseguenze che siasi fatta in fisica, e per la quale l' Italia à dato una seconda spinta alle scienze sperimentali dopo l'epoca del Galilei.

Se con più dischi uguali di rame e zinco si formano delle coppie eterogenee saldandoli insieme, nel sovrapporre col medesimo ordine queste coppie l'una all'altra senza più, accadrà in tutto il sistema lo sbilancio elettrico come se ogni coppia rame e zinco fosse sola, senza alcuna influenza d'una sull'altra.

Ma ben altra cosa succederà se tra una coppia e l'altra si ponga una rotella di carta o panno insuppato in soluzione acida o salina. Infatti sovra un zoccolo M (fig. 109) si collochi una prima coppia rame-zinco, su questa una rotella di panno bagnato, e poi una seconda coppia rame-zinco, e così di seguito: tutto il sistema è tenuto per mezzo di tre colonnette di vetro parallele fra loro. Si sarà formato a questo modo il *piliere voltaico*, o la *pila a colonna* di Volta.

In essa la elettricità si avanza dallo zinco della prima coppia al rame della seconda attraverso il conduttore umido, e così dallo zinco della seconda al rame della terza per modo, che la tensione sarà crescente da un estremo all'altro, dal rame allo zinco.

Poli, reofori, o *elettrodi*. I due estremi della pila si chiamano *poli*; il polo rame dicesi *negativo*, il polo zinco *positivo*. La corrente va nell'interno della pila dal polo rame al polo zinco, e per un arco interpolare esterno dal polo zinco al polo rame.

Due fili metallici comunicanti co' due poli e impiegati a chiudere il circuito diconsi *reofori* o *elettrodi* secondo Faraday ; e *anodo* quello annesso al polo positivo , *catodo* quello ch' è congiunto col polo negativo. Passando per essi la corrente produce tutti gli effetti che andremo studiando , cioè gli scalda , gli arroventa , li fonde: se i loro estremi si accostano a breve distanza si vede la scintilla, e se s'impugnano tra le mani se ne riceve la scossa , se immergonsi nell' acqua questa si scompone.



Fig. 109.

Talvolta sulla carta bagnata a contatto coll'ultimo zinco si pone un disco di rame, il quale equilibrandosi con quello fa le veci ugualmente del polo positivo, com'è espresso nella figura ; e dall' altro lato si pone del pari un disco di zinco che sarà il polo negativo. In questo caso il rame e lo zinco che sono ai due capi della pila, congiunti con l'arco interpolare costituiscono una coppia.

81. Distribuzione della tensione nella pila. Per vedere in qual modo varia la tensione da un capo all'altro della pila, fa d'uopo esaminare tre casi, secondo che un de' due poli comunica col suolo, o sono entrambi isolati.

1.° Comunichi col suolo il polo rame. Questa condizione porta seco di necessità che il rame sia costantemente a stato naturale. Laonde poniamo sia 2 la differenza di tensione tra rame e zinco,ed avremo per una prima coppia rame 0, zinco 2. Adagiando su questo una rotella bagnata e poi un secondo rame, tra zinco, umido, e rame opererà solo la virtù conduttrice ; si metteranno dunque ad equilibrio di tensione pari a 2, e finchè questo non accade il primo rame prende dal suolo novella quantità di elettrico. Se poi sul secondo rame a tensione 2 si pone un secondo zinco, questo

per la differenza di tensione dovuta alla forza elettromotrice avrà tensione 4. Similmente una seconda rotella bagnata e un terzo rame avranno tensione 4, e poi un terzo zinco tensione 6, e così di seguito. Adunque la tensione andrà crescendo nella ragione diretta del numero delle coppie.

È agevole verificare coll' esperienza tutte queste conseguenze ponendo a contatto i diversi elementi della pila con l'elettrometro-condensatore.

2.° Se comunica col suolo il polo zinco, sarà zero la tensione dello zinco della prima coppia, e - 2 quella del rame sovrapposto, cedendo il rame per forza elettromotrice la sua elettricità allo zinco, e questo al suolo per forza conduttrice. Una rotella bagnata e un secondo zinco avran pure tensione - 2, e un secondo rame tensione - 4. Con facile ragionamento si troverà che la tensione va crescendo verso il polo isolato come nel primo caso, ma è sempre negativa.

3.° Ambo i poli della pila sieno isolati. Allora è chiaro che, sia qualunque la tensione delle diverse coppie, le differenze nasceranno dal solo sbilancio della loro elettricità naturale, e la somma delle tensioni nella intera pila dovrà essere costantemente zero. Laonde ponendo mente a queste due leggi che 1.° tra i metalli a contatto vi deve essere la differenza di tensione dovuta alla forza elettromotrice, e che 2.° in quelli separati dal conduttore umido deve essere uguale la tensione, sarà agevole definire come vadano crescendo le tensioni opposte verso i due estremi.

Se è pari il numero delle coppie, nel mezzo la tensione è 0; per esempio, se sono due avremo:

1° rame—2, 1° zinco 0, cond^e umido 0, 2° rame 0, 2° zinco + 2.

Se le coppie sono dispari, nella media la tensione è come se fosse sola; così per tre coppie si avrà

1.° rame—3, 1° zinco—1, 1° cond^e umido—1, 2° rame—1, 2.° zinco + 1, 2° cond^e umido + 1, 3° rame + 1, 3° zinco + 3.

MODIFICAZIONI DELLA PILA.

82. **Pila a corona di tazze.** La pila a colonna presenta parecchi inconvenienti, de' quali si avvide l' istesso Volta. A tacerne di altri, se le rotelle sono poco bagnate, presto si disseccano, e l'azione della pila si arresta; se sono pregne di liquido, que-

sto spremutone dalla pressione delle coppie superiori scorre all'esterno, e stabilendo una comunicazione tra le varie coppie turba la distribuzione della tensione, e quindi anche la corrente. Egli perciò diè altra forma alla pila ideando quella a corona di tazze.

Questa componesi di una serie di vasi di vetro V, V, V,... (fig. 110), contenenti acqua acida o salina, e di tante coppie di lamine

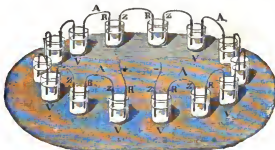


Fig. 110.

di rame R, e di zinco Z saldate insieme con un arco di rame A. Le due lamine congiunte con un medesimo arco pescano in due vasi contigui, e nello stesso ordine in modo, che in ogni vase si trovi una lamina di rame e una di zinco. Due lamine finalmente, una di rame, l'altra di zinco, restano sole, e rappresentano i poli negativo e positivo dell'intera pila.

83. **Altre forme di pile a un liquido.** Ben definite le coppie e che sempre van separate dal conduttore liquido, si comprende come le pile abbian potuto ricevere mille forme svariate, oltre i cangiamenti ne' metalli della coppia, e nelle dimensioni; e ciò o per renderle più maneggevoli o per ritrarne maggiore effetto. Ci basterà descrivere le principali.

Pila a truogoli. Guglielmo Cruikshank di Woolwich imaginò la pila a cassetta o a truogoli (fig. 111); ed è una scattola rettangolare allungata, in cui son disposte parallele tra loro le coppie formate di tante lamine rettangolari anch'esse di rame e zinco saldate insieme. Sul fondo e sulle pareti della scattola è disteso uno strato di mastice. Finalmente gli scompartimenti sono ripieni del consueto liquido, che non deve nè superare in altezza le lamine, nè passare da uno scompartimento all'altro. Agli estremi v'à due lamine una di rame, l'altra di zinco che ne sono i poli.

Pila di Wollaston. Dopo che il Morichini ebbe scoverta la maggiore efficacia della pila, quando più estesa è la superficie del rame in confronto dello zinco, Novellucci piegò in due una lamina



Fig. 111.

di rame e vi chiuse in mezzo lo zinco: fece altrettanto Wollaston, che diè il suo nome alla pila.

Abbiasi dunque una serie di vasi di vetro *a, d... e* (fig. 112) con acqua acida o salina. Nel primo è immersa una lastra di zinco *c*: la circonda senza toccarla una lastra di rame, la quale per mezzo

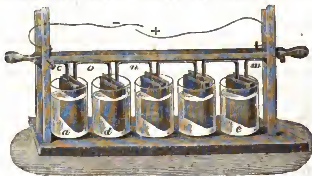


Fig. 112.

della striscia di rame *o* si congiunge alla lastra di zinco del secondo vase *d*; una lastra di rame circonda quest'ultima e con la striscia *n* tocca lo zinco del terzo bicchiere, e così di seguito: l'ultima lamina di ràme è scompagnata dallo zinco. Questo rame isolato *m* sarà il polo positivo, e lo zinco *c* il negativo. Che se gli archi *c, o, n... m* sono raccomandati a un telaio mobile, basterà alzarlo finchè le coppie non sieno più immerse nel liquido per sospendere l'azione della pila.

Pila a cassette di rame. Hart di Glasgow sostituì ai vasi di vetro lo stesso rame delle coppie; ossia impiegò una serie di cassette di

rame col liquido conduttore, e in ciascuna introdusse una lamina di zinco, che per un arco di rame toccava la cassetta di rame seguente. Oersted poi sospese tutte le lamine di zinco a un telaio mobile per sollevarle e abbassarle a piacere.

Pila ad elice. Offerhaus colonnello del genio imaginò la pila ad elica (fig. 113) a grande superficie e poco volume. Avvolse cioè intorno a un cilindro di legno due ampie lamine R, Z, una di rame, l'altra di zinco, separate con sottili verghe di legno per tutta la lunghezza. Il cilindro è sospeso a un telaio, e può immergersi nel tino V col liquido conduttore.

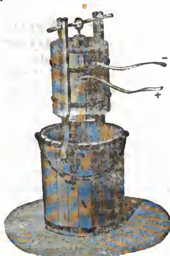


Fig. 113.

Pila di Smee. Gli elementi della pila Smee sono zinco amalgamato e platino platinato, a' quali sono saldati due fili metallici costituenti i reofori negativo e positivo: il liquido generalmente usato è acido solforico diluito in acqua nella ragione di 1: 7.

Dopo che Kemp di Edimburgo fè conoscere nel 1826 i vantaggi dell'amalgamazione, si preferisce sempre lo zinco amalgamato in questa e nelle altre maniere di pile. Lo zinco perchè d'ordinario impuro è fortemente attaccato dall'acido solforico: tra le molecole eterogenee si stabiliscono delle correnti parziali, che non van sommate con la corrente del circuito; laonde v'è consumo inutile del metallo, anche quando il circuito è aperto. Invece amalgamando lo zinco, la superficie ne diventa omogenea, e quell'inconveniente è tolto. Inoltre lo zinco è negativo rispetto al mercurio, e l'acido non può attaccarlo più direttamente se non per forza della corrente. Lo zinco si amalgama con immergerlo prima in soluzione acida per nettarlo dell'ossido, e poi in un bagno di mercurio; si ottien pure l'effetto in una volta immergendo la lamina, comunque ossidata, in un miscuglio di azotato di biossido di mercurio e d'acido cloridrico.

Il *platino platinato* è miglior conduttore e dà più energia alla

corrente del platino semplice, perchè forse a motivo della sua superficie aspra non ritiene come l'altro lo strato gassoso che impedisce il contatto immediato col liquido, o meglio perchè assorbe d'idrogeno un volume 745 volte il proprio. Si prepara co' metodi galvanoplastici.

Pila di Sturgeon. È un vaso di ghisa contenente acqua acidulata con un nono di acido solforico, nel quale s'introduce un cilindro di zinco amalgamato.

Pila del principe di Bagration. Costa d'una serie di lamine o di cilindri paralleli di zinco e di rame a piccola distanza fra loro, in vase di vetro o di legno; gl'intervalli si colmano di sabbia, che a quando a quando si bagna con soluzione di sale ammoniaco.

Sebbene questa pila abbia l'inconveniente che il sale disseccandosi si conforma in croste nocevoli allo sviluppo dell'elettrico, pure conserva la sua azione per più mesi sino al consumo totale dello zinco ed è sovente impiegata perchè molto economica.

Pila di Marié Davy. Componesi di carbone e zinco amalgamato, e fra essi solfato di mercurio stemperato in acqua. Comecchè di piccolissime dimensioni, è assai potente.

84. **Pile a secco.** Désormes e Hachette composero i primi nel 1803 una pila senza il conduttore umido frapponendo tra le coppie uno strato di colla di farina e sale comune. Biot trascelse un disco di azotato di potassa fuso, e De Luc la carta costruendo una pila con sottili foglie di zinco e di carta ramata. Queste e molte altre somiglianti si dicono *pile a secco*. Ma su tutte meritano la preferenza quelle dell'Abb. Zamboni di Verona da lui annunziate la prima volta nel 1812. Ei distese sul rovescio della carta, che dicesi *dorata* o *argentata*, uno strato di biossido di manganese, poi la tagliò a dischetti del diametro di due a tre centimetri, che sovrappose l'uno all'altro in maniera che l'ossido del secondo combaciasse con la faccia metallica del primo, e così di seguito: strinse e legò tutto il sistema per tenerlo stabilmente unito. Il rame della carta dorata o lo stagno dell'argentata insieme coll'ossido di manganese costituiscono la coppia: ciascuna è separata dalla seguente per mezzo d'un doppio foglio di carta, che agisce da conduttore di seconda classe. Il primo strato metallico da un lato, e l'ultimo ossido dall'altro sono i due poli della pila. Perchè la carta compia com'è dovere le parti di conduttore è necessario contenga quel grado di umidità naturale, che suole assorbire qual corpo igro-

metrico. Se la umidità fosse eccedente, la pila sarebbe più attiva sulle prime, ma presto diventerebbe inerte: se la carta fosse secca più del dovere, non condurrebbe abbastanza. Per renderla meno accessibile alle variazioni igrometriche dell'atmosfera, il Zamboni soleva rivestire la pila d'uno strato di mastice, che solo a determinate distanze lasciasse scoverte le coppie. Ma io ò trovato più spedito e più vantaggioso alla costanza dell'effetto giusta il consiglio che diedi pure, sono già 20 anni, all'egregio meccanico Ruhmkorff, d'introdurre la pila ed ermeticamente chiuderla in cannello di cristallo, purchè nell'atto di costruirla la carta sia umida a quel giusto grado.

Variò in molti modi il Zamboni la sua pila, e la costrusse ora con dischi di carta dorata e argentata, nel quale caso la coppia era rame e stagno; ora con sola carta o dorata o argentata, costituendosi la coppia dalla faccia metallica e dallo strato d'ossido che si forma nell'incollare la foglia di metallo sulla carta.

Molte applicazioni furono fatte delle pile a secco del Zamboni. Egli stesso avendo osservato che se scemano da principio alquanto di forza, raggiunto poi un determinato grado d'intensità, lo conservano con mirabile costanza, se ne valse per produrre una maniera di moto perpetuo. Ei fissò verticalmente sopra una base due di queste pile d'oltre 600 coppie ognuna co'due poli opposti in alto, e gli altri in comunicazione col suolo o meglio fra loro: applicò ai poli superiori due dischetti metallici, e sospese fra essi un pendolo, il quale attratto e respinto alternamente da quelli oscillava per un tempo illimitato. Accrescendo la forza delle pile applicò tale motore agli orologi: e ve n'è uno in Verona che segna il tempo medio da ben 30 anni con differenza di soli 8' l'anno. S'intende da se che con parecchie di queste pile in giro oltre il moto alternativo si può ottenere anche quello di rotazione.

Elettroscopio di Bonhemberger. Ma il maggior vantaggio, che si è tratto dalle pile a secco, è stato l'applicazione di Bonhemberger all'elettroscopio (fig. 114). Sovra un zoccolo di legno M sono fissate a conveniente distanza due pile di Zamboni P, P' co'loro poli opposti in alto terminanti nelle due palline *a*, *b*, e co'poli inferiori comunicanti tra loro per mezzo d'una striscia metallica. Il tutto è coverto da una campana C, al collo della quale è aggiustata con mastice una verga metallica, che all'esterno finisce con un bottone D, e nell'interno con laminetta sottilissima di oro *f*. Quando

un corpo debolmente elettrizzato tocca il bottone D, la laminetta *f* elettrizzata anch' essa si accosta al polo eteronimo *a*, o *b* ; e con ciò l'istrumento indicherà in una volta l'esistenza e la natura dell'elettrico. Se ad esso si accoppia il condensatore, la sua sensibilità diviene squisita oltre quanto può dirsi, e giustifica il nome datogli di *microscopio elettrico.*

85. **Pile a due liquidi.** Le pile idroelettriche presentano tutte il grave inconveniente di scemare rapidamente di forza ; e ciò massimamente perchè il flusso dell' elettrico trasporta sopra un elemento i prodotti dell' alterazione dell' altro. Furono perciò ideate le pile a due liquidi , dette anche *a forza costante.* È importante conoscere le principali tra queste.

Pila di Daniell. Questa pila può assumersi come tipo di tutte quelle *a due liquidi.* Fu ideata verso il 1836, e poi riprodotta sotto diverse forme. Una d'esse (fig. 115) è un vaso di vetro o di faen-

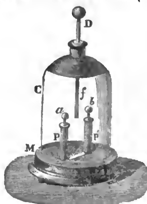


Fig. 114.

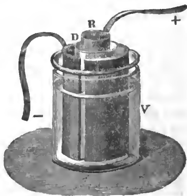


Fig. 115.

za V contenente acqua acidulata con acido solforico, nella quale è il cilindro di zinco amalgamato Z: in questo s'introduce un bicchiere o diaframma poroso D composto di porcellana non patinata, e dentrovi una soluzione satura di solfato di rame, nella quale è immerso l'elemento rame R in forma pure di cilindro. Il diaframma vieta il mescolamento de'liquidi, ma permette bene il passaggio alla corrente. Si usò farlo di pelle , di cartone , di tela, di legno , di gesso, e di tutte le varietà di terre cotte.

La figura 116 rappresenta un'altra forma più semplice, sebbene meno economica. Il vase esterno VV è di rame , l' elemento

zinco Z è contenuto nel diaframma poroso: i due liquidi sono anche acqua acidula nel diaframma, soluzione di solfato di rame nel vaso V; e perchè quest'ultima sia sempre satura, nella vaschetta *e* si ripongono de'cristalli di solfato di rame, i quali van sostituendo il solfato della soluzione secondo che la corrente lo scompone. Due strisce di rame *p*, *n* saldate agli elementi rame e zinco rappresentano i poli, ed ànno viti di pressione per congiungere più coppie in serie.

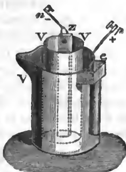


Fig. 116.

Veramente Becquerel negli anni 1826 e 1829 ideò delle pile a due liquidi poco diverse da quella di Daniell, e fondandosi su principii differenti; ma perchè poco comode restarono disusate.

Pila di Breguet. È questa non altro che una modificazione della pila di Daniell (fig. 115). In essa l'elemento zinco è immerso non in soluzione acida ma nell'acqua pura: il diaframma contiene pure la soluzione di solfato di rame, nella quale è sospesa con verga di rame un piccol diaframma bucherato di gutta perca o di rame con cristalli di solfato.

È singolare la costanza di queste pile, per che son preferite nelle linee telegrafiche: a conservarle in attività sei mesi o un anno non si deve che andarvi aggiungendo de' cristalli di solfato di rame: è bene per altro rinnovarle ogni tre mesi. Ò veduto nelle stazioni di Germania e di Svizzera usarsi tanto piccole, che venti di esse son contenute in una scattola di un piede quadrato.

Pila di Grove. Fin dal 1839 Grove inventò la sua pila, la quale può ritenersi come tipo di quelle *a due acidi*. Gli elementi della coppia sono una lamina di platino, ed una di zinco amalgamato; quella è immersa nell'acido azotico puro e concentrato, questa nel solforico diluito, i quali due liquidi son pure separati dal diaframma di porcellana. Questa pila è delle più potenti, che si conoscano, e regolare; ma poco economica, chè il platino è caro, e dopo alquante settimane d'uso diventa friabile e fragile.

Pila di Bunsen. Nel 1843 Bunsen professore di chimica nell'Università di Heidelberg à sostituito il carbone al platino nella pila di Grove ritenendo gli stessi due liquidi. La pila così modificata è senza contrasto da preferire a tutte le altre riunendo tutt' i van-

taggi insieme d'intensità, di costanza, di economia. Bunsen disponeva il cilindro di zinco all'interno nel diaframma, ed il carbone in forma pure di cilindro all'esterno di esso nel vase di vetro. Il carbone era composto artificialmente, sottoponendo a valida pressione in una forma di ghisa un miscuglio intimo di coke e di litantrace grasso in polvere. Poi l'esponeva all'azione del fuoco, e immersolo in un liquido zuccherino il sottoponeva di nuovo a fuoco più attivo. Si ottiene così un carbone, che è ottimo conduttore dell'elettrico, e non è attaccato dall'acido azotico.

Modificazioni della pila di Bunsen. Nel 1849 Lemolt ed Archereau collocarono lo zinco all'esterno, il carbone all'interno nel diaframma; ed usarono non un cilindro di carbone preparato, ma un parallelepipedo o cilindro di quello che dicesi *carbone di storta*, il quale aderisce in croste alla parete delle storte, che àn servito alla preparazione del gas dell'illuminazione. La fig. 117 rap-

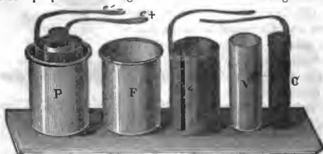


Fig. 117.

presenta la pila di Archereau, composta del vaso esterno F, dello zinco Z, del diaframma V, e del carbone C, che van riposti uno nell'altro, come vedesi in P.

Molti pure àn modificato la maniera di congiunzione delle strisce metalliche al carbone per ovviare all'inconveniente che quelle ossidandosi impediscono il passaggio della corrente: il quale è massimo nel metodo di Archereau di legarle stabilmente con fili di piombo ricoverti poi di mastice. Deleuil pratica un foro sul cilindro di carbone, nel quale introduce un cono tronco di rame saldato alla striscia di rame dello zinco seguente. Du Moncel aggiunse del mercurio nel foro del carbone per meglio assicurare il contatto. Altri àn proposto d'introdurre in una fenditura operata nel carbone la striscia di rame saldata allo zinco che segue. Io nelle grandi mie esperienze giungendo a usare sino a 300 coppie ò trovato che il miglior metodo è di congiungere al carbone con viti di

rame o di ferro le lamine di rame: potendosi agevolmente staccare quando occorre nettarle.

86. **Combinazione delle coppie in batterie.** Qualunque sia la natura delle coppie possono esse armarsi in batteria a parecchie insieme in differenti modi.

Primamente in lunga serie una coppia per ordine dopo l'altra, come nella fig. 118: gli elementi isolati R, e Z sono i due poli. Co-



Fig. 118.

sì la fig. 119 rappresenta una batteria alla Bunsen armata a questo modo: il carbone estremo A ne è il polo positivo, lo zinco estremo B il polo negativo.

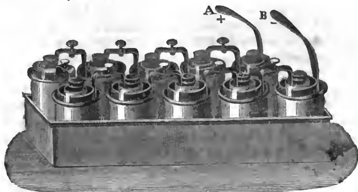


Fig. 119.

La seconda maniera consiste nel fare che tutti gli elementi positivi delle coppie comunichino fra loro da un lato in R (fig. 120), e tutti i negativi dall'altro in Z: è chiaro che la batteria equivale ad una coppia, i cui due elementi ànno per estensione la somma degli elementi omonimi di tutte le coppie.

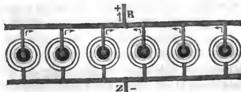


Fig. 120.

Tra questi due modi estremi di armare batterie vi sono tutt' i modi intermedi, i quali variano col numero delle coppie. Poniamo ad esempio che

sieno sei le coppie: potranno armarsi due a due (fig. 121), o pure tre a tre (fig. 122). Se sono otto potranno accoppiarsi a due, o a quattro. Se dodici, potranno unirsi a dne, a tre, a quattro, o a sei.

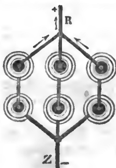


Fig. 121.

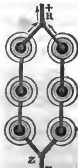


Fig. 122.

Non è indifferente valersi dell'nno o dell'altro modo di congiunzione. In qnello della fig. 118, la corrente d'ogni coppia deve percorrere l'intero circuito, e la resistenza che incontra di necessità sarà maggiore. Questa resistenza sarà minima armando la batteria come nella fig. 120; e varierà in proporzione usando le tre maniere di congiunzione con questa legge, che « diviene tanto minore quanto più cresce il numero delle coppie che si rendono equivalenti ad nna sola ». Tra le diverse combinazioni dovrà scegliersi quella, che più conviene all' effetto da produrre, come diremo.

EFFETTI MECCANICI E FISICI DELLA CORRENTE.

87. Effetti meccanici. I fenomeni prodotti dalle correnti van distinti in dne grandi categorie. I primi si generano ne' corpi stessi traversati dalla corrente, e sono *meccanici*, *fisici*, *chimici*, e *fisiologici*. I secondi son prodotti anche a certa distanza, e sono gli *elettrodinamici*, gli *elettromagnetici*, e quelli d'*induzione*.

Primamente in qnanto agli effetti meccanici non v'à lnogo a dubbio che la corrente valga a produrre un trasporto di materia ponderabile dal polo rame al polo zinco nell'iuterno della pila, e dal polo zinco al polo rame per l'arco interpolare. Infatti Biot e Cuvier dopo lasciato chiuso per alqnanti giorni il circuito di una pila a colonna con coppie rame-zinco saldati insieme, e intercalate da rotelle di cartone bagnate con soluzione di sale comune, nello

scomporla trovarono sul rame superiore dell'ossido di zinco: e usando coppie non saldate rinvennero pure sullo zinco d'ogni coppia delle particelle di rame. Fusinieri in quest'ultimo caso trovò anche sullo zinco delle tracce di ottone risultante dalla combinazione del rame trasportato con lo zinco.

Il trasporto poi per l'arco interpolare è ben dimostrato dall'esperimento che Porret fece la prima volta nel 1816, il quale è una specie di *endosmosi elettrica*. Si divida in due scompartimenti la capacità d'un vase per mezzo di un diaframma poroso, ad esempio con una vescica: si colmi uno d'essi di acqua pura, e nell'altro se ne versi appena quanto basta per chiudere il circolo di una pila con introdurre nel primo il reoforo positivo, nel secondo il negativo.Si vedrà man mano diminuire il liquido del polo positivo, crescere quello del negativo. Se s' invertono gli elettrodi, il liquido camminerà in direzione opposta. De la Rive à scoverto, che aggiungendo un acido all'acqua pura il fenomeno si arresta; e ciò perchè il liquido miglior conduttore resiste meno all' impulso della corrente, ed allora invece delle molecole liquide saran trasportati gli elementi in cui quelle si scompongono.

Alla possanza meccanica della corrente deve pure attribuirsi il fenomeno scoverto dal Fusinieri del piegarsi e contrarsi le lamine piane, di cui la pila è composta, divenendo ondulate, e in generale concave da un lato, convesse dall'altro. Tal cangiamento di forma avviene per forza sì valida, che giunge a vincere l' adesione della saldatura tra gli elementi delle coppie.

Inoltre la corrente produce negli elettrodi un'alterazione del modo di aggregamento molecolare. Infatti Peltier à scoverto che un filo, il quale à agito per lungo tempo da elettrodo,diventa *crudo* o *acre*,cioè perde la sua duttilità e si spezza agevolmente.Grove à veduto accorciarsi e crescere di diametro i fili metallici traversati da corrente sì valida da rimanerne fusi : un filo di platino sottoposto di nuovo all'azione della corrente si spezzò con un cupo rumore.

La corrente passando per un filo metallico ne cangia il coefficiente di elasticità: perchè fattolo oscillare dà un suono diverso da quello che avrebbe dato prima. Inoltre se per un filo di ferro teso passa una corrente discontinua, la quale cioè s'interrompe a brevi intervalli, si à un suono, e meglio quando la corrente traversa un filo di rame avvolto a spira, nel cui asse è teso il filo di

ferro. De la Rive à ottenuto il medesimo effetto sebbene meno intenso con fili di altri metalli. Siffatto suono nulla à di comune con quello che odesi lungh'esso il filo sospeso delle linee telegrafiche dipendente da ignote influenze atmosferiche, sovrattutto poggiando l'orecchio alle pertiche che il sostengono. Questo sovente cagiona molestia massimamente nelle città fino a produrre de' reclami; sicchè in Francia fu proposto un concorso nella idea di definire la cagione delle vibrazioni de'fili, e il miglior sistema di saldatura per annullare o diminuire il fragore.

88. **Effetti calorifici.** La corrente nel traversare i corpi li riscalda, sia qualunque la loro natura e lo stato fisico.

Riscaldamento de' fili metallici. I fili che agiscono da elettrodi si riscaldano a segno da arroventarsi e fondersi, se la corrente è abbastanza vigorosa. Anche una sola coppia alla Bunsen basta a rendere rovente un filo di platino di convenienti dimensioni.

Leggi. Fu senza fallo Joule il primo ad usare un metodo di ricerca capace di dare risultamenti esatti e comparabili, renduto anche più squisito da Edmondo Becquerel. Esso è analogo a quello impiegato da Laroche e Bérard per determinare le capacità termiche degli aeriformi. L'apparecchio consiste in un piccolo calorimetro, nel quale è immerso un filo metallico avvolto attorno a una spirale di vetro: per quel filo si fa passare una corrente costante di elettrico, a quella guisa che nel serpentino degli ordinari calorimetri passa una corrente aeriforme. Ecco le leggi a cui si è pervenuto: il calore svolto dalla corrente in un filo

1.° *È nella ragione diretta del quadrato della velocità della corrente.*

2.° *È nella ragione inversa della virtù conduttrice del filo.*

3.° *Se la sezione è costante, sarà lo stesso in qualunque punto del filo purchè sia traversato dalla stessa copia di elettrico.*

4.° *È nella ragione inversa della quarta potenza del diametro.*

Da queste leggi si trae: essere maggiore l'innalzamento di temperatura dove è maggiore la resistenza opposta alla corrente. In verità era stato già scoverto da Children, che componendo l'arco interpolare con fili di diversi metalli saldati insieme, si riscaldano più i men buoni conduttori.

Raffreddamento prodotto dalla corrente. Studiando Peltier il calore sviluppato dalla corrente negli archi eterogenei scoperse un fatto singolare; cioè che saldando ad una verga di bismuto un'al-

tra di antimonio, allorchè la corrente va dalla prima alla seconda produce freddo nella saldatura. El si valse del suo speciale termometro, e Lenz di Pietroburgo d'un piccolissimo termometro a mercurio. Pacinotti à esaminato le circostanze del fenomeno, ed à scoverto che il freddo succede solamente nel primo passaggio della corrente, poscia la saldatura si riscalda, ma non mai tanto quanto nell'andar la corrente pel verso opposto: che anche altri metalli si comportano come il bismuto e l'antimonio: che non può ritenersi come principio generale che la corrente generi freddo quando va dal peggior conduttore al migliore come volea Peltier, ma invece allorchè è diretta come quella che sarebbe prodotta dal riscaldamento della saldatura, secondo vedremo a suo luogo.

Riscaldamento de' liquidi: leggi. Anche i liquidi si scaldano nell'essere traversati dalla corrente; ma il fenomeno è più complicato tra per lo svolgimento degli aeriformi, e per le azioni chimiche che possono aver luogo. Edmondo Becquerel à dimostrato, che quante volte non si sviluppa sostanza gassosa il riscaldamento dei liquidi è pure come ne' fili metallici

1.° *nella ragione diretta del quadrato della velocità.*

2.° *nella ragione inversa della conducibilità.*

Ma quando si svolgono aeriformi, come nell'analisi dell'acqua, conviene aggiungere il calore che sarebbe prodotto dalla ricomposizione di tanto liquido quanto se ne scompone.

Ineguale calore ai due poli. Un altro fenomeno del pari importante si è, che al polo positivo si svolge più calore. Così quando la corrente è debole il dimostrò Matteucci toccando i diversi punti dell'arco metallico interpolare con una coppia termo-elettrica. Ma se la corrente è poderosa non fa bisogno di mezzi così squisiti. Poichè, se chiudesi il circolo con arco men conduttore, per esempio di ferro, si arroventa solo verso il polo positivo. Nè accade altrimenti ne' liquidi: basta a dimostrarlo un termometro immerso nel mercurio traversato dalla corrente. Tutto ciò vale a persuaderci che il calore parte con la corrente dal polo positivo.

Applicazioni. Fra le applicazioni del calore svolto dalla corrente va ricordata la idea di Grove, di formare una specie di lampada di sicurezza mediante un filo di platino a spira chiuso in tubo, e arroventato da una forte corrente. La quale è più felice di quella di De la Rive e Boussingault di valersi dell'arco stesso luminoso, di cui vedremo non esser costante l'effetto.

Inoltre potendo la corrente guidarsi in distanza per mezzo di due lunghi fili isolati, ad esempio con rivestirli di guttaperca, e colà arroventare un filo di platino, si comprende che circondando questo di polvere, si accenda; e quindi l'uso della corrente per lo scoppio delle mine, o delle bombe a danno delle navi, e financo nella pesca delle balene.

89. **Fenomeni luminosi.** Avvicinando a breve distanza gli estremi degli elettrodi, scocca fra essi una scintilla allorchè la tensione della elettricità accumulata a' poli è capace di vincere la resistenza opposta dallo strato d'aria intermedia. Similmente nell'aprire il circuito scocca una scintilla, purchè la distanza a cui si riducono gli elettrodi non diventi maggiore del limite che corrisponde alla tensione. Si à dunque scintilla nel chiudere e nell'aprire il circuito; come può verificarsi immergendo l'elettrodo nel mercurio, che faccia parte del circuito, ed estraendonelo alternamente. Nel secondo caso è più agevole per ragioni che diremo trattando della induzione elettrodinamica.

Luce elettrica. Allorchè la distanza è conveniente e la pila abbastanza vigorosa, la luce è continua, bianca, abbagliante, e d'un effetto maraviglioso così da non potersene formare una giusta idea senza vederlo. Il nome che meglio le conviene è quello di *lampo permanente*. Il primo a produrla fu Davy in Londra nel 1801 con pila di 2000 elementi a truogoli. Ei fe' passar la corrente tra due coni di carbone prima messi a contatto e poi lentamente scostati. Si ottiene a questo modo il così detto *arco voltaico*, la cui lunghezza e grossezza rispondono alla forza della corrente.

Sua natura. L'arco luminoso non è dovuto certamente alla combustione del carbone, sebbene questa si accompagni al fenomeno quando à luogo nell'aria. Imperocchè la combustione dovrebbe essere tanto più rapida quanto più viva la luce: con che il carbone scomparirebbe in un attimo. Inoltre il fenomeno accade ugualmente nel vuoto, e ne' gas non atti alla combustione: anzi pure ne' liquidi, sebbene con arco assai più corto. È indubitato invece che esso, almeno in gran parte, consista nel trasporto della materia ponderabile sommamente attenuata e incandescente dall' un polo all'altro. Ciò vien dimostrato dalla osservazione di De la Rive, il quale scovrì esser necessaria la presenza d'un corpo di debole coesione al polo positivo: infatti si ottiene la luce collocando al polo positivo una spugna di platino, ed al negativo un globetto

dell'istesso metallo ammassato; e manca se le due sostanze si collocano inversamente. Di qui il vantaggio dell'immergere il carbone dopo averlo arroventato nel mercurio, il quale lo riveste e lo penetra. Ma la più convincente dimostrazione è quella di fatto: la diè il primo Foucault, il quale applicò il microscopio alla luce elettrica, e proiettò l'imagine ingrandita de' due carboni e dell'arco luminoso sovra un muro iu distanza nella camera oscura: si vede allora nel carbone positivo una cavità, e sul negativo si deposita una specie di fungo. Forse la materia estremamente divisa vien proiettata da' due poli, ma molto più copiosamente dal carbone positivo, il quale più presto si consuma.

Sembra una bella conferma dell'argomento che trattiamo l' esperienza suggerita da Herschell ed eseguita da Daniell. Questi senza porre i carboni a contatto li avvicinò a poca distanza: fè poi passare la scarica d'una bottiglia di Leyda dal carbone positivo al negativo, ed ottenne all'istante l' arco luminoso. Io ò trovato verissimo il fatto, e dippiù ò scoverto che il fenomeno manca se si fa passare la scarica della bottiglia dal carbone negativo al positivo.

Intensità della luce. La intensità della luce elettrica cresce col numero delle coppie, e con la estensione di loro superficie, sebbene in una ragione men rapida. Fizeau e Foucault chiamando 1000 la intensità della luce solare a mezzodì trovarono espressa da 235 quella di 46 pile alla Bunsen, grandezza media: triplicando poi la superficie di queste, la intensità della luce divenne 385.

In una delle tante mie esperienze adoperando 300 pile alla Bunsen calcolai che l'intensità di luce equivaleva a 9409 candele stearighe, poichè l'effetto pareggiava una di queste ma a distanza 97 volte maggiore.

Essa è assolutamente bianca, donde tutti gli oggetti circostanti appariscono de' lor propri colori: infatti lo spettro che se ne à col prisma è simile allo spettro solare: ma le strisce aualoghe a quelle di Fraunhofer sono luminose in cambio di essere oscure.

Suo potere chimico e calorifico. La luce elettrica agisce come la solare sul ioduro sul cloruro e sul bromuro d'argento: e quindi opera sulle lamine daguerriane. È atta pure alla combinazione del cloro con l'idrogeno, e simili.

La sua virtù riscaldante poi è tale, che con essa si ottiene la più elevata temperatura artificiale. Io con 400 coppie ò ottenuto gli effetti, pe'quali a Despretz ne bisognarono 600: ò rammollito il car-

bone, dalla cui superficie si elevava pure un fumo nero indizio di volatilizzamento oltre all'aver fuso silicio, boro, tunsteno e palladio; ò altresì volatilizzato il ferro, ed anche in parte un filo di platino di lunghezza un decimetro, e tre millimetri di diametro.

Applicazione. Attesa la grande intensità della luce elettrica era naturale la idea di farla servire ad illuminare le città. Ma pe' gravi inconvenienti della spesa e dell'incostanza il disegno è venuto meno: a'quali bisogna aggiungere l'incomodo di passar quasi dal chiaro meriggio al buio perfetto allorchè si va nell'ombra proiettata dalla luce elettrica. Perciò se n'è ristretto l'uso ad illuminare solamente le grandi piazze in occasione di spettacolo, o di lavoro straordinario. È da notare per altro che impiegando la stessa batteria ogni dì, l'assorbimento dell'acido azotico operato da'carboni, e quindi il suo consumo e la spesa diventano incomparabilmente minori.

Regolatori della luce elettrica. L'incostanza dell'arco luminoso dipende dalla impurità de' carboni, e sovrattutto dal loro consumo, per che si scostano, e la luce si affievolisce e manca. Nè può adoperarsi ad avvicinarli un meccanismo, per esempio di orologeria, a moto uniforme, perchè il loro consumo non è regolare. Si usa dunque accostarli a mano; e sono stati ideati puranco degli ordigni ingegnosi o de' veri *regolatori*, mercè i quali i carboni si appressano quanto nel consumo si allontanano.

Nelle mie esperienze ideai con ottimo riuscimento un regolatore semplice, nel quale il carbone negativo era fisso, il positivo mobile sotto l'azione di due forze, d'una elettro-calamita da un lato, d'un contropeso dall'altro: quella tendeva a scostarli, questo ad avvicinarli, e la loro distanza rimaneva sensibilmente la stessa. Anche sull'azione d'una elettro-calamita è fondato il regolatore di Deleuil, assai più complicato del mio, e rappresentato dalla fig. 123. Sulla base di ghisa OO è poggiato il sostegno M, a cui mediante il bottone D vien fissato il carbone negativo N. Il carbone positivo P è mobile mediante il meccanismo espresso a parte dalla fig. 124, e sottoposto alla base OO. Componesi d'una leva di primo genere A, che può compiere intorno all' ipomoclio L delle oscillazioni piccolissime, perchè limitate da due viti, che sono a un estremo. Due forze imprimono movimenti opposti alla leva. Da un lato la elettro-calamita E, che attira il pezzetto di ferro dolce *m*; dall'altro una molla a spira B tesa per mezzo dell'appendice C. Da ultimo alla estremità B della leva è fissa una laminetta d' acciaio I, che poggia su i denti dell'asta K: allorchè la leva si abbassa da

questo lato la laminetta è senza azione sull'asta K, ma nell'alzarsi s'incastra in quelli e la spinge in su col carbone positivo P.

Si congiungano dunque gli elettrodi con le viti di pressione G, H, e i coni di carbone sieno a conveniente distanza per produrre l'arco luminoso. Allora la elettro-calamita E attira il ferro dolce *m*, la leva sollevasi da questo lato, e la laminetta I si abbassa: ma nel consumarsi i carboni la corrente s' indebolisce e con essa la elettro-calamita D fino a non più equilibrare la molla B; questa porta in su la laminetta I, che trae seco l'asta dentata K, e i carboni si avvicinano.

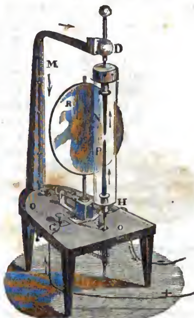


Fig. 123.

Si suole proteggere l' arco luminoso dalle correnti aeree per mezzo d' un tubo di vetro, e s' impiega pure un riflettore R per dirigere o concentrare la luce come che sia.

EFFETTI CHIMICI.

90. **Analisi prodotte dalla corrente.** I primi ad accorgersi del potere chimico della corrente furono certamente Volta e Brugnatelli: essi videro scomposto il sal comune, non che altri sali sciolti in acqua, e ossidato lo zinco della pila.

La corrente scompone tutti i corpi, purchè sieno liquidi e atti a condurla. Faraday li chiama *elettroliti*, ed *elettrolisi* questa maniera di analisi.

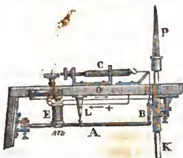


Fig. 124.

Elettrolisi dell' acqua, voltametro. I fisici inglesi Nicholson e

Carlisle scovrirono nel 1800 l'acqua scomporsi ne' suoi elementi al passar della corrente. Questa esperienza ben si esegue con l'ordigno detto *voltametro* (fig. 125) da Faraday perchè atto a misurare le correnti vigorose. È nn bicchiere con acqua leggermente acidulata da poche gocce di acido solforico ; al fondo sono dne fori pe'qnali penetrano due fili di platino A, B, senza toccarsi, anzi separati con mastice , e che vanno a terminare cogli altri due capi nelle viti di pressione P, P'. Se a qneste si fissano gli elettrodi , si vedran comparire delle bollicine gassose sui fili A, B ; e volendo raccorre in campanine con acqua C, D, gli aeriformi che si svolgono, si avrà idrogeno all' elettrodo negativo, ossigeno al positivo, e 'l volume del primo doppio del secondo.

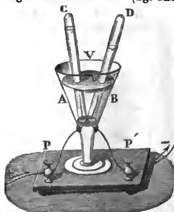


Fig. 125.

Analisi degli altri composti binarii. Similmente si risolvono i composti di ossigeno e d'nn metallo , purchè liqnidi, cioè o fusi o sciolti: così gli ossidi di piombo e di bismuto che non si scompongono solidi, sì bene dopo averli fusi; e si à costantemente il metallo al polo negativo, l'ossigeno al positivo. Succede altrettanto di tutti gli ossiacidi.

All'azione chimica della corrente è dovuta la scomposizione della potassa in ossigeno e potassio , e della soda in ossigeno e sodio operata da Davy nel 1807; e poi si conobbe che ngualmente la calce, la barite, la stronziana e simili, sono degli ossidi di calcio, di bario, di stronzio. Davy condnsse a questo modo l'analisi della potassa : in una piccola cavità sopra un pezzo di potassa versò del mercurio; poi mise in contatto l' elettrodo positivo con una lamimina di platino sn cui avea collocata la potassa , e l' elettrodo negativo col mercurio. Dopo pochi istanti il mercurio divenne pastoso e si trasformò in amalgama di potassio; nè è gran fatto difficile separare il mercurio dal potassio.

Del pari si scompongono gli acidi cloridrico , iodidrico , bromidrico: il cloro, il iodo, il bromo si veggono isolati al polo positivo, l'idrogeno si sviluppa al polo negativo.

E in generale lo stesso succede di tutt' i composti binari: ad esempio di quelli che il cloro, il iodo, il bromo formano co' metalli: si scompongono tutti dopo averli o fusi, o sciolti in un liquido. Con somma facilità fra gli altri si scompone il ioduro di potassio sciolto in acqua; in vicinanza dell'elettrodo positivo l'acqua si tinge in giallo, indizio del iodo ripristinato.

Analisi de'sali. Anche i sali si decompongono pel passaggio della corrente, e sempre dopo averli ridotti a stato liquido o per soluzione o per fusione. Ma i prodotti sono differenti secondo il vario grado di affinità che lega i principii dell'acido e della base.

1. Se l'acido e la base sono stabili, si separano, e l' acido va al polo positivo, la base al negativo. Una elegante esperienza il dimostra: nel tubo di vetro ricurvo AB (fig. 126) si versi una soluzione di solfato di potassa o di soda tinta in azzurro con dello sciroppo di viola: e poi introducansi gli elettrodi nel liquido de'due rami. Si vedrà immantinenti arrossare il liquido presso l'elettrodo positivo A, e inverdire presso il negativo B.

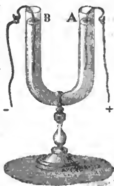


Fig. 126.

2. Se il solo acido è poco stabile, si scompone anch'esso: il solo ossigeno si manifesta al polo positivo, l' altro elemento una con la base del sale vanno al polo negativo.

3. Se la base è debole, l'acido e l'ossigeno della base vanno al polo positivo, e'l solo metallo di questa si ripristina al polo negativo. Il che succede ugualmente allorchè l'acido è insolubile. Così impiegando un benzoato, l' acido benzoico solido e cristallizzato va al polo positivo.

4. Se entrambi sono poco stabili, il loro ossigeno va al polo positivo, e gli altri due elementi al negativo.

Elettrolisi de'sali di potassa e di soda fusi. Gérardin à scoverto (ottobre 1861) che il solo ossigeno va al polo positivo, e i due radicali dell'acido e della base al negativo. Infatti col borace si svolge abbondante ossigeno al polo positivo, al negativo brucia il sodio, e finita l'esperienza sul reoforo negativo si trova un deposito di boro amorfo: cogli uranati al polo negativo si veggono scoppiar le bolle di potassio e di sodio tra le scintille di uranio; e coi fosfati al cessar della corrente vi brucia il fosforo.

Un eccesso di alcali accrescendo la conducibilità, e facilitando la fusione permette di operare con più debole corrente (1 a 4 elementi alla Bunsen), e a meno alta temperatura.

91. **Prodotti primarii e secondarii.** Nelle *elettrolisi* diconsi *prodotti primarii* quelli che si àn *direttamente* dalla scomposizione. Sono tali l'idrogeno e l'ossigeno nella elettrolisi dell'acqua. Si chiamano poi *secondarii* quelli che nascono da reazioni, che su i primi esercitano gli elementi del liquido o la materia degli elettrodi. Ad esempio pe' composti di potassio, di sodio, di bario ec., il radicale per la grande affinità con l'ossigeno se lo appropria scomponendo l'acqua, e al polo negativo invece di potassio, sodio, o bario si svolge idrogeno; l'idrogeno sarà un prodotto secondario. Ugualmente se nel voltametro aggiungo all' acido solforico una sufficiente quantità di acido azotico, può diminuire o mancare all'intutto lo svolgimento dell'idrogeno al polo negativo, e 'l liquido prenderà una tinta rossa: il fenomeno è dovuto al combinarsi dell'idrogeno coll'ossigeno dell' acido azotico, il quale rimane cangiato in acido azotoso.

In quanto poi alla reazione degli elettrodi poniamo che essi non sieno di platino ma di un metallo ossidabile, per esempio di ferro, di rame, di zinco; non si vedrà più svolgimento di ossigeno al polo positivo, perchè esso si combinerà al metallo dell'elettrodo, e si avranno invece degli ossidi per prodotti secondarii.

I prodotti sono diversi operando per via secca o per via umida. Così usando reofori di rame la stessa corrente traversi il sal marino fuso o sciolto in acqua. Nel primo caso si à cloruro di rame azzurro verdastro al polo positivo, nel secondo idrato di sottossido di rame d'un bel giallo.

92. **Leggi delle elettrolisi.** Gli studi di Faraday di Becquerel e di Matteucci ci ànno rivelato le seguenti tre leggi.

1.ª *Le quantità degli elementi che si ottengono nelle elettrolisi sono sempre proporzionali a' loro equivalenti chimici.*

È una conseguenza di tutte le esperienze citate, poichè gli elementi debbono poter ricomporre il corpo scomposto; ed è agevole dimostrarla tenendo conto de' prodotti primarii e de' secondarii.

2.ª *La proporzione d'un elettrolito, che si scompone dalla corrente, risponde esattamente alla quantità di elettrico che il traversa.*

Basteranno a persuadersene le seguenti esperienze.

Si dispongano in serie più voltametri così, che la medesima cor-

rente debba tutti traversarli uno dopo l'altro; essi però abbiano gli elettrodi di varia lunghezza e grossezza, lo strato liquido più o meno ampio, e 'l liquido anche più o meno acidulato. Si raccoglierà in tutti la stessa quantità di prodotti gassosi, che vien regolata dal voltametro in cui la conducibilità è minore: appunto perchè essa misura la corrente, che traversa l' intero sistema.

Più convincente ancora è questa seconda. Si ordinino quattro voltametri A, B, C, D così, che una corrente traversi il primo A, poi si divida in due che passino separatamente pel secondo B e pel terzo C, e quindi riunitesi di nuovo traversino il quarto voltametro D. Si avrà la stessa quantità di prodotti gassosi nel primo, nel secondo e nel terzo insieme, e nel quarto; e le quantità de'prodotti raccolti in B e in C saran proporzionali alle loro conducibilità.

3.ª *La quantità d'un composto, che la corrente riduce ne'suoi elementi, è dipendente dalla maniera di sua composizione.*

Ciò vuol dire che le leggi esposte àn luogo pei composti formati da un equivalente di ciascun elemento, come l' acqua, i protossidi, i protocloruri. Ma se il composto nasce dalla combinazione d' un equivalente con due, la quantità che si risolve è la metà di quel che sarebbe nel primo caso. Anche più complicata e men certa è la legge se varia altrimenti la ragione degli elementi.

93. Origine del potere elettrolitico. È agevole intendere donde l'origine della virtù di scomporre nella corrente giusta la *teoria elettro-chimica dell'affinità* ideata da Berzelius. Il chimico di Stocolma ammise, che i diversi corpi avessero di loro natura o essenzialmente una elettricità opposta a quella del polo, verso cui si dirigono nel venir fuori da una combinazione: così l'ossigeno, il cloro, gli acidi, che vanno al polo positivo, sono negativi; pósitivi l'idrogeno, le basi, e i metalli che appariscono al polo negativo. Con ciò solo l'affinità chimica non è altra cosa che l'effetto dell'attrazione elettrica, e lo svolgimento di calore e luce che accompagnano le combustioni si ridurrebbe ai fenomeni delle scariche tra le molecole eterogenee contrariamente elettrizzate, che ritornano all'equilibrio.

Sì elegante ipotesi e cotanto semplice à le sue difficoltà, è vero, e non possiam riuscire a tutte dissiparle. Di poco peso ad esempio è quella che muove dal vedere che un medesimo corpo va ora al polo negativo ora al positivo, o altrimenti agisce or da elettro-positivo or da elettro-negativo, come lo zolfo secondo che emerge dalla

scomposizione dell'acido solforico o di un solfuro. Imperocchè veramente nella ipotesi d'un solo fluido gli stati elettrici opposti sono relativi, e non assoluti, come *forse* dovrebbe ritenersi nella ipotesi di due fluidi. Ma non possiamo sbrigarci ugualmente di tutte. Del resto saremo sempre restii a rifiutarla finchè o non si dimostri assurda, o altra più accettevole non se ne proponga.

Ciò posto, s'intende come l' affinità dei poli per le molecole di un composto preponderante sulla forza che le tiene unite, sia valevole a scompagnarle, ciascun polo attirando a se quella che è dotata di elettricità contraria. Da che consegue il richiedersi una corrente più vigorosa per iscomporre le combinazioni più stabili, le quali nascono dal solo corpo che è sempre negativo, l'ossigeno, e dai più positivi, il potassio, il sodio e simili.

94. **Trasporto degli elementi nelle elettrolisi.** Dall'apparire gli elementi d'un composto solo ai due poli mal s'inferirebbe che solamente colà ne succede l'analisi. Tutte le molecole nella serie percorsa dalla corrente da un polo all'altro si scompongono, e sono attirate ai poli: ma incontrandosi gli elementi dotati di elettricità opposte a stato nascente si ricompongono di bel nuovo: e solo ai poli si presentano perchè non ànno le compagne alle quali combinarsi. La fig. 127 rende sensibile quel che succede nell' acqua. Tutte le molecole HO, HO, HO.... si scompongono simultaneamente andando l'idrogeno verso il polo negativo N, l' ossigeno verso il positivo P; ma incontrandosi ricostituiscono l'acqua, e solamente le molecole estreme si svolgono isolate a'due poli.

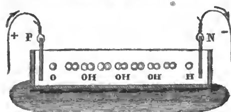


Fig. 127.

Nè già si creda che questo trasporto di elementi sia arbitrario: rigorose esperienze il dimostrano, e ci rivelano pure quale sia l' ufizio de'poli. Abbiansi infatti tre bicchierini di vetro A, B, C (fig. 128); si versi acqua semplice ne' due primi e nel terzo

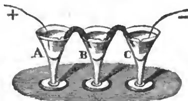


Fig. 128.

una soluzione salina, per esempio di solfato di potassa: fattili comunicare tra loro con tubi di vetro pieni d'acqua, o con fili d'amianto, introducasi l'elettrodo positivo in A, il negativo in C. Dopo alquanto si trova l'acido in A; il quale perciò à dovuto traversare il bicchierino B, a segno che tingendo in azzurro con tornasole l'acqua de' due bicchierini A, e B, in passar la corrente rosseggia solamente quella di A. Che se invece nel bicchierino B si ponesse della soluzione di barite, colà si arresterebbe l'acido solforico componendosi con essa in solfato di barite; il quale è insolubile e perciò indecomponibile. In questo caso la barite agisce da polo positivo.

95. **Polarità elettriche.** De la Rive à scoverto, che se due lamine di platino ànno agito da poli, o in generale sono state traversate da una corrente, acquistano virtù di generare un'altra corrente di direzione opposta alla prima. Questa virtù dicesi *polarità elettrica*, e la corrente prodotta si chiama *corrente secondaria.*

La cagione del fenomeno è riposta nel potere elettrolitico. Infatti poniamo che la corrente traversi una soluzione salina: l'acido andrà sulla lamina positiva, la base sulla negativa. Se poi dunque mettiamo le due lamine a contatto, la prima avrà potere elettronegativo come l'acido, la seconda sarà elettro-positiva come la base, ossia genereranno una corrente in direzione opposta a quella che à prodotta la polarità; appunto come se l'una venisse immersa in un acido, l'altra in una soluzione alcalina, e poi fossero messe a contatto. Si comprende che dura la corrente secondaria finchè la sua medesima azione non abbia distrutta la polarità. Nè ciò solo accade cogli acidi e colle basi, ma qualunque sieno i corpi negativo e positivo messi a contatto con le due lamine di platino; ad esempio ossigeno e idrogeno. Infatti si *polarizzano* gli elettrodi che ànno agito nella scomposizione dell'acqua; e Matteucci à scoverto che immergendo una lamina di platino nell'ossigeno divien negativa, e positiva nell'idrogeno. De la Rive vorrebbe attribuire questi fatti al rapido ossidarsi e disossidarsi del platino.

Pila a gas di Grove. Ad un effetto della polarizzazione del platino riducesi la virtù della *pila a gas* ideata da Grove nel 1843. Ei le diè varie forme, e da ultimo la seguente. Si preparino vari tubi di cristallo, destinati a ricevere gli aeriformi in modo, che ciascuno contenga una laminetta di platino, la quale traversi la estremità superiore chiusa alla lampada, e finisca di fuori in uno scodellino

con mercurio. Un d'essi si riempia d'ossigeno, un altro d'idrogeno, e poi si aggiustino a' due colli di una bottiglia alla Woolf, o s'introducano in un bicchiere con acqua acidulata. Si sarà composta così una coppia a gas, della quale il polo positivo è il mercurio del tubo con l'ossigeno, l'altro a contatto dell'idrogeno è il polo negativo; chiudendo il circuito con un arco interpolare la corrente va per esso dal primo al secondo.

Una coppia scompone il ioduro di potassio, due l'acqua; e in sufficiente numero danno tutti gli effetti delle correnti.

A circuito chiuso van diminuendo i volumi gassosi ne' tubi; ed è notevole che, passando la corrente pel voltametro, tanto volume aeriforme si raccoglie in esso per la scomposizione dell'acqua quanto ne scompare nell'interno della pila.

Pila secondaria. È agevole pure rendere ragione della *pila secondaria* di Ritter. Dispongansi in una scattola di legno rettangolare (fig. 129) tante lamine di un metallo solo, per esempio di pla-

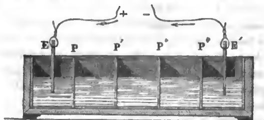


Fig. 129.

tino, di argento, di rame ecc. P, P', P'', P''', che la dividano in altrettanti scompartimenti; tutti questi riempionsi di acqua acidula. Or se ne'due estremi immergonsi due lamine E, E' comunicanti coi poli positivo e negativo di una forte pila, accade che dopo passata la corrente per un certo tempo si sarà formata la pila secondaria; tolti cioè quei due elettrodi, e chiuso comunque altrimenti il circuito, si avrà da essa una corrente, in direzione opposta a quella che la produsse.

La cagione è riposta nel polarizzarsi le lamine; perchè andando sopra una faccia l'idrogeno e sopra l'altra l'ossigeno, ciascuna di esse diventa equivalentemente eterogenea nelle due facce.

L' attività della pila secondaria è a tempo, come abbiam detto; e sarebbe distrutta più prestamente facendola traversare dalla corrente in opposta direzione.

Ciascuno comprende da se, che coteste correnti secondarie sono la principale cagione dell'indebolimento delle pile.

Passività de' metalli. Probabilmente è altresì un fenomeno di polarità la modificazione che succede in certi metalli, allorchè in contatto con alcuni liquidi sono percorsi dalla corrente, ossia diventano *passivi*, come dicesi. Il ferro divien *passivo*, allorchè da esso esce la corrente nell'acido azotico: cioè non è più attaccato dall'acido azotico, nè più si combiua all'ossigeno che si svolge; anzi modifica ugualmente altro ferro con cui sia messo a contatto. La passività cessa se si fa entrare in esso la corrente da un liquido.

È opinione di parecchi, che questa passività consista in una combinazione superficiale di ferro e ossigeno, la quale impedisce il progresso della ossidazione. Ed è a notare che mostrasi anche passivo il ferro, quando diviene violetto col calore.

EFFETTI FISIOLOGICI.

96. Azione sulle piante. La corrente non à azione diretta sui vegetali, ma solamente un'azione indiretta o mediata.

Infatti sopra un panno impregnato con soluzione salina, per esempio di solfato di potassa, spargansi de'semi piccolissimi, e stabiliti due elettrodi di platino agli estremi si faccia passare una corrente continua. Si vedranno germogliare prima i semi presso al polo negativo, poi quelli del mezzo e i più restii sono quelli del polo positivo. La spiegazione del fatto è evidente: gli acidi si oppongono alla germogliazione, le basi la favoriscono, perchè assorbono l'acido acetico che in essa si svolge. Basterà per dimostrarlo porre dei semi in tre capsule, delle quali la prima contenga una soluzione acida, la seconda una soluzione alcalina, la terza acqua pura o una soluzione neutra. Or nella elettrolisi del sale l'acido è andato al polo positivo, la base al negativo.

Sulla contrattilità delle due specie di *mimosa pudica* e *sensitiva* la corrente agisce come la scintilla al pari di un qualunque altro stimolo. L'azione sulla *chara* è più complicata ed oscura. È noto che col microscopio nel fusto di questa pianta reso trasparente si veggono de'globicini verdi animati da una specie di moto circolatorio. Questo movimento appunto viene alterato dal passaggio della corrente, poichè si rallenta, si arresta, si cangia in contrario, e poi ricomincia senza legge.

97. **Azione sugli animali.** Appena scoverta la pila, se ne conobbe la virtù fisiologica, e si applicò la corrente agli animali vivi e morti, e financo a' cadaveri dei condannati. E quando furon visti dimenare stranamente le membra, aprire e volgere gli occhi, agitar le labbra, sollevare ed abbassare i muscoli del petto come in atto di respirare, lo stupore giunse all'estremo, e si concepì financo la speranza che questo agente di vita, l'elettrico, fosse pure capace di riaccenderla dove era spenta. Ma le illusioni svanirono, e la scienza rientrò nel suo campo, ossia nel vero.

A noi basterà esporre brevemente i risultamenti delle moderne ricerche, sovrattutto di quelle di Mattencci.

1. *Azione sugli animali vivi.* Si scovra il nervo sciatico d'un coniglio vivo, e dopo averlo asciugato ed isolato si faccia che una corrente vada dal centro del nervo verso la periferia, o nel senso opposto, le qnali due correnti chiamansi *diretta* e *inversa*. Si osserveranno allora i seguenti fatti.

I muscoli della coscia si contraggono, e l'animale stride: dunque *contrazione e dolore*. Ambo i fenomeni accadono al chiudere o all'aprire il circnito così della corrente diretta come della inversa; sospendonsi mentre il circnito è chiuso, e mancherebbero del tutto se la corrente non andasse lungo il nervo ma il traversasse.

Il dolore è più intenso al cominciare della corrente inversa, e maggiori si ànno le contrazioni al cominciar della diretta.

Dolore e contrazioni spariscono più o men prestamente in ragione della forza della corrente impiegata: riappariscono se l'animale si lascia alquanto in riposo.

La eccitazione del nervo sulle prime è *centripeta*, poi diviene *centrifuga*: ossia va dal nervo percorso dalla corrente alla midolla spinale, e da questa poi a tutt'i nervi che si diramano da essa. Infatti recisa in due trasversalmente la midolla spinale, se passa la corrente pel nervo crurale, non si osservano più contrazioni ne' muscoli che sono al di sopra della parte tagliata.

2. *Azione sugli animali morti.* Gli animali recentemente uccisi sono pure eccitabili. Agendo sovra un coniglio come abbiam detto, se la corrente è forte, sia diretta sia inversa, si contraggono i muscoli inferiori al chiudere e all'aprire il circuito; ma dopo qualche tempo solo allorchè comincia la diretta, e finisce la inversa. Che se la corrente è debole, si ànno le contrazioni in questi due ultimi casi, e mancano negli altri.

I muscoli superiori non si contraggono se non di rado, e con forti correnti, e solo per qualche istante.

Si dimostrano benissimo tutti questi teoremi su di una rana preparata alla Galvani, e messa a cavaliere su due bicchierini con acqua, nella quale immergonsi i due elettrodi.

È importante notare il seguente fatto. Agendo sopra un animale morto, se, dopo che son cessate le contrazioni dovute al passaggio della corrente per un dato nervo, la corrente percorre altra porzione di esso più lontana dal cervello, le contrazioni si rinnovellano. Dunque la eccitabilità del nervo si va ritirando verso la sua estremità periferica. Per l' opposto in un animale vivo i segni di dolore si rinnovano applicando gli elettrodi a porzione del nervo sempre più vicina al cervello.

3. *Azione su i muscoli.* Spogliando un muscolo per quanto è possibile da tutt'i filetti nervosi, esso pure si contrae al chiudere il circuito della corrente, sia qualunque la direzione di questa relativamente alle fibre muscolari: cessano le contrazioni a circuito chiuso, riappariscono nell' aprirsi. Ma le prime persistono più a lungo, e per veder rinnovate le seconde si richiede corrente più forte. Sono più deboli le contrazioni ne'muscoli spogliati de' loro nervi, perchè i muscoli sono dotati di maggiore conducibilità.

Anco la scarica della bottiglia produce la contrazione ne' muscoli; ed è singolare che il muscolo rimane così contratto e sembra preso da una rigidezza cadaverica.

4. *Influenza della legatura.* Se facclasi un nodo al nervo crurale d'un coniglio, e dopo averlo bene isolato si dispongano gli elettrodi al di sopra della legatura, si otterranno dolore e contrazioni o sole contrazioni secondo che l'animale è vivo o morto, osservandosi le leggi esposte, tranne che si restringono pure al di sopra della legatura. Se poi gli elettrodi si fissino sotto la legatura, anche colà avverranno i fenomeni esposti. Adunque il nodo limita gli effetti della corrente verso il centro o la periferia dei nervi. Se un elettrodo è sopra la legatura, un altro sotto, la corrente agisce come senza il nodo, fuorchè meno energicamente.

5. *Influenza dell'avvelenamento.* V'à due metodi per misurare l'effetto dell'avvelenamento in ordine al modificare la eccitabilità de'nervi con la corrente: cioè o dedurla dal numero delle coppie necessario a scuotere l'animale avvelenato, o misurarla dal tempo richiesto dalla corrente per distruggere la eccitabilità, facendo

sempre il paragone con un animale ucciso senza il veleno. Ecco alcune conseguenze a cui àn condotto quelle due maniere di sperimentare. Niun effetto si à dall' avvelenamento coll' idrogeno, coll'azoto, coll'acido carbonico, col cloro. Ma è assai diminuita la eccitabilità negli animali morti cogli acidi cianidrico o solfidrico, o con l'etere solforico, o con poderose scariche elettriche.

6. ***Azione della corrente discontinua.*** Tutte le cose esposte àn luogo per una corrente non solo continua, ma anche discontinua, ossia interrotta a brevi intervalli di tempo; tranne che la eccitabilità de'nervi rimane assai più indebolita con questa seconda. Una rana ad esempio sotto la sua azione tende i membri, e sembra affetta da convulsioni tetaniche.

In generale gli ordigni atti ad interrompere una corrente, àuno il nome di *reotomi* (*), e sono variamente costruiti. Ad esempio s'introduce nel circuito della corrente una ruota dentata mobile intorno l'asse mediante un manubrio : uno degli elettrodi è fisso alla ruota, l'altro ne tocca l'orlo dentato per mezzo d' una molletta. Allorchè questa tocca un dente, il circuito è chiuso ; si apre per chindersi novellamente allorchè passa da un dente all' altro. Laonde basta girare con rapidità la ruota perchè avvengano le interruzioni ad intervalli piccoli come piace. Questa è la così detta *ruota di Masson*, che ne fu inventore. È mirabile la sua virtù scuotente; ed avvertesi questo di singolare, che chi ne prova la molestia non può liberarsene lasciando cadere i manubrii, ma invece le mani li stringono più fortemente.

Lo stesso Masson ebbe anche a scovrire, che se il numero delle interruzioni in dato tempo supera un certo limite, non si à più nè scossa nè dolore, e l'effetto equivale a quello d' una corrente continua. Pouillet à trovato questo limite nell' intervallo di $\frac{1''}{300}$ tra una interruzione e l'altra.

EFFETTI ELETTRODINAMICI, O AZIONE SCAMBIEVOLE TRA LE CORRENTI.

98. **Teorema di Ampère.** Sono parti d' una medesima teoria l' azione delle correnti tra loro, quella della terra sulle cor-

(*) Dal greco τέμνειν *rompere, segare.*

renti, e quella tra le correnti e le calamite ; le quali due ultime sono conseguenze della prima (*).

L'azione scambievole di attrazione e di ripulsione tra le correnti scoverta e formolata da Ampère nel 1826 può enunciarsi generalmente in questi termini.

Le correnti che ànno la medesima direzione si attraggono, quelle che ànno contraria direzione si ripellono.

Due correnti si dicono avere la medesima direzione allorchè entrambe si avvicinano ad uno stesso punto, o linea, o piano; l'ànno contraria, allorchè una si avvicina a quel punto, o linea, o piano, da cui l'altra s'allontana.

L'attrazione poi o ripulsione tra le correnti si argomenta dall'avvicinarsi o dallo scostarsi i conduttori percorsi da esse. A ciò ottenere grave difficoltà si presentò ad Ampère; poichè per circolare la corrente il circuito deve esser chiuso, il che sembra opporsi alla mobilità de'conduttori. Ei però la tolse con introdurre nel circuito un liquido conduttore ; per esempio il mercurio. La sua macchina per poter servire a tutte le sperienze fu abbastanza complicata, e nelle stesse mani del suo autore andò prendendo varie forme. Fu ridotta poi semplicissima massimamente per opera di Pouillet e Barlocci.

Dimostriamo partitamente l'enunciato teorema per le correnti rettilinee e per le circolari.

99. Attrazione e ripulsione tra le correnti parallele. Il circuito, pel quale va la corrente (fig. 130) componesi di due parti, l'una fissa, l'altra mobile. La prima consiste in due colonne metalliche piantate perpendicolarmente sopra una base di legno, e congiunte in alto con traversa anche di legno. A' due estremi di questa vi sono due viti di pressione : parte dalla prima un filo di rame, che scende isolato per A e finisce con lo scodellino metallico R, il cui centro corrisponde verticalmente al centro del simile scodellino O, comunicante per mezzo d'una striscia di rame con la base della seconda colonna. Da ultimo ne' due scodellini R, O, contenenti mercurio, introducansi gli estremi del

(*) Sovrattutto nell'esporre questa branca dell'elettricità, la più completa dell' intero trattato, è necessario preferire l' ordine logico al cronologico, sebbene sarebbe più maraviglioso vedere come per opera di tanti sommi una scoverta sia stata conseguenza dell'altra, e mille ne abbia cagionate.

conduttore mobile, che è un filo di rame piegato come nella figura, e può rotare intorno all'asse RO.

Ciò posto, se dall'elettrodo positivo C entra la corrente per la base della colonna a sinistra, uscirà per l'elettrodo negativo B dopo avere percorso l'intero circuito nella direzione segnata dalle frecce. Or costantemente si vede il conduttore mobile allontanarsi dalle colonne; e ciò perchè i fili laterali di quello sono percorsi dalla corrente in direzione opposta alla corrente della colonna vicina. *Le correnti parallele* dunque *si respingono se ànno direzione contraria.*

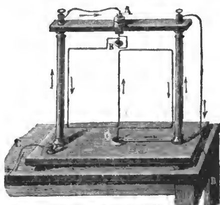
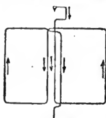


Fig. 130.

Si sostituisca al conduttore mobile, che trovasi nell' apparecchio, l'altro della fig. 131. Dalla maniera com'è piegato e dall'andamento delle frecce si deduce, che le correnti laterali vanno in esso secondo la stessa direzione che le correnti fisse; e nel fatto si osserva che il conduttore mobile allontanato dai conduttori fissi si volge intorno al suo asse e loro si accosta.


Fig. 131.

Essendo pari le altre circostanze, l' *attrazione uguaglia la ripulsione*. Infatti se si compone un conduttore mobile per modo che il filo ritorni in opposta direzione parallelo a se medesimo, esso resterà immobile sotto l'azione della corrente fissa.

100. Attrazione e ripulsione tra le correnti angolari. Due *correnti non parallele* si dicono *angolari*, sieno o no in un medesimo piano. Nel primo caso ànno la medesima direzione allorchè entrambe si avvicinano al vertice, o entrambe se ne scostano; intendendo per *vertice* il punto dove s'incontrano, o dove prolungandosi s'incontrerebbero; se giacciono in diversi piani van riferite alla retta, che misura la più breve distanza tra le loro di-

rezioni. Inoltre si dice *finita* o *terminata* una corrente rispetto a un'altra, se non oltrepassa il punto o la linea d' incontro; *indefinita* se procede oltre.

Per dimostrare l'attrazione tra le correnti angolari della medesima direzione, e la ripulsione tra quelle di direzione opposta, si usa l'apparecchio della fig. 132. Il quale consiste nelle colonne metalliche A, B, con le braccia orizzontali terminanti in due vaschette con mercurio, che ànno i centri nella stessa verticale: in esse va sospeso il conduttore mobile PQ. Inferiormente poi v'è il *moltiplicatore* fisso *mn*. Questo si compone d' un filo, o anche di una striscia di rame vestita di seta, che si avvolge replicatamente intorno a un rettangolo di legno: ed à quel nome perchè se una corrente il percorre, la sua azione sul conduttore mobile a pari condizione sarà accresciuta corrispondentemente al numero degli avvolgimenti.

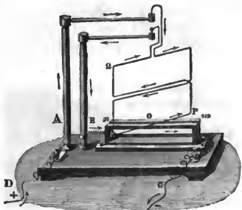


Fig. 132.

Sieno dunque al loro posto il moltiplicatore e 'l conduttore mobile formando tra loro l' angolo PO*m*. La corrente dall' elettrodo D ascende per A, attraversa il conduttore mobile PQ, discende per B, e finalmente percorso il moltiplicatore *mn* ritorna per C alla pila. Si vedrà allora un' attrazione tra le correnti OP, O*m* che si scostano entrambe dal vertice, poichè l' angolo PO*m* diminuirà sino a divenire zero, ossia finchè il conduttore PQ e la corrente *mn* si riducano ad un medesimo piano.

Se al conduttore sospeso QP sostituiscasi l' altro MN della fig. 133, le due correnti ad angolo ON, O*m* avranno opposta direzione, e s' inferirà la ripulsione dal veder crescere l' angolo NO*m*.

Azione tra le correnti indefinite. Veramente, se ben si consideri, l'azione scambievole tra la corrente del conduttore mobile

RP e quella del moltiplicatore *nm* (fig. 132) riducesi a due correnti indefinite. Queste equivalgono a quattro correnti terminate RO , OP, *n*O, O*m*, tra le quali àn luogo due attrazioni e due ripulsioni; cioè attrazione tra RO ed *n*O e tra OP ed O*m* , e ripulsione tra RO ed O*m* , e tra *n*O ed OP, le quali sono cospiranti nell' effetto. Donde è agevole inferire il seguente teorema :

L'azione tra due correnti indefinite tende a farle girare , finchè riducansi parallele e dirette pel medesimo verso.

Lo stesso teorema può dimostrarsi altresì con l' apparecchio

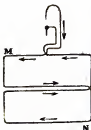


Fig. 133.

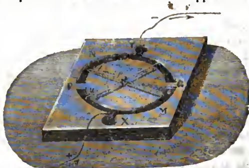


Fig. 134.

della fig. 134. Sur una base di legno si facciano due scanalature anulari M, N separate tra loro in F e G: si spalmino di mastice e riempiansi d'un liquido conduttore, per esempio acqua acidulata o mercurio. Inoltre il mercurio delle due cavità comunichi per mezzo di due fili metallici , un de' quali *cd* non sia mobile che a mano, l'altro *ab* sia sommamente girevole come un ago da bussola bilicato sulla punta *p*. Or disponendo i due elettrodi in X e in Y, avremo due correnti indefinite che vanno pei due fili dalla cavità M verso N; e vedrem girare *ab* sino a disporsi nell'istesso piano verticale di *cd*, ed entrambi saran percorsi dalla corrente nel medesimo senso.

101. **Ripulsione tra le parti di una corrente.** Le parti d'una medesima corrente si respingono a vicenda,così quando formano un angolo , come quando si seguono nella medesima direzione. Nella prima ipotesi il teorema è evidente, poichè mentre l'una si accosta al vertice l'altra se ne allontana; dalla ripulsione consegue che *una corrente ad angolo tende a raddrizzarsi.*

Nella seconda ipotesi si versi il mercurio (fig. 135) nelle due scanalature M, N, tra loro separate , e sovr'esso si faccia galleggiare un conduttore piegato ad arco con due lati paralleli. Non appena immergonsi nel mercurio gli elettrodi X, Y, si vedrà che il conduttore si allontana indefinitamente da essi.

102. **Leggi delle correnti sinuose.** *L'azione d'una corrente sinuosa pareggia quella d' una corrente rettilinea di uguale lunghezza in proiezione.* Infatti si avvicini alla corrente del conduttore mobile ABCD (fig. 136) quella del conduttore *mno* formato dalla porzione sinuosa *mn* e dalla rettilinea *no* rivolta oppostamente. Il conduttore ABCD resta immobile: ossia le due correnti *mn* e *no* ànno azioni opposte ed *uguali.*

A pari condizione dunque le attrazioni e le ripulsioni delle correnti angolari sono uguali come quelle delle correnti parallele.



Fig. 135.

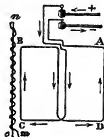


Fig. 136.

103. **Azione d'una corrente indefinita sopra una corrente finita perpendicolare alla sua direzione.**

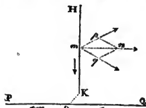


Fig. 137.

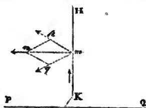


Fig. 138.

Sia PQ la corrente indefinita, HK la finita, la quale si accosti alla prima (fig. 137), o se ne allontani (fig. 138). OK è la perpendicolare comune alle loro direzioni, la quale diventa nulla se incontransi. Or la corrente indefinita PQ può risolversi nelle due OP,

QO, le quali esercitano azioni uguali sulla corrente HK perchè disposta con simmetria intorno al punto O, ma opposte. Se HK è discendente (fig. 137) sarà attratta da QO, respinta da OP; se HK è ascendente (fig. 138), sarà respinta da QO, attratta da OP. Rappresentando dunque le due forze attrattiva e ripulsiva con *mp*, *mq*, e componendole insieme, la risultante *mn* cagionerà il moto ne'varii casi. Esaminiamo i principali.

1.° Sia fissa la corrente indefinita, mobile la terminata con moto parallelo; è chiaro che questa si sposterà andando da P verso Q se è discendente (fig. 137), da Q verso P se è ascendente (fig. 138).

Se la corrente terminata HK è fissa, e mobile la indefinita PQ con moto progressivo, questa seconda si muoverà secondo la sua direzione nel primo caso, in direzione opposta nel secondo.

2°. Poniamo che la corrente indefinita sia fissa, e mobile la corrente finita con moto di rotazione intorno a un asse XY (fig.° 139 e 140) parallelo alla sua direzione. Le azioni attrattiva e ripulsiva delle due porzioni della corrente indefinita tenderanno insieme a far girare la corrente finita, finchè il piano dell' asse e della corrente riducasi parallelo alla corrente indefinita; la rotazione sarà verso il punto P (fig. 139) a cui è diretta la corrente indefinita, se la corrente terminata le si avvicina; e verso il punto Q (fig. 140),

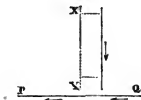


Fig. 139.

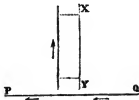


Fig. 140.

da cui quella viene, quante volte l'altra si scosta da essa.

3.° Se abbiasi un sistema di due correnti girevoli intorno al medesimo asse XY (fig. 141) parallelo alle loro direzioni, è chiaro che per l' azione di una corrente indefinita PQ tenderanno a disporsi in un piano parallelo a questa, allorchè una corrente è discendente, l'altra ascendente. Ma quando entrambe si accostano alla corrente indefinita (fig. 142), o entrambe se ne scostano, riducesi a niente l' azione sul sistema.

104. Azione d'una corrente indefinita sopra una corrente rettangolare o circolare. Dalle cose dette è agevole inferire che *una corrente chiusa*, per esempio la corrente

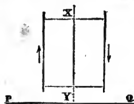


Fig. 141.

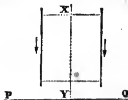


Fig. 142.

rettangolare ABCD (fig. 143), *mobile intorno l'asse verticale XY, per l'azione della corrente orizzontale* PQ *dovrà girare sino a disporsi in un piano ad essa parallelo, e così che le correnti* DC *e* QP *sien dirette pel medesimo verso.*

A produrre quest'effetto cospirano insieme le azioni attrattive e ripulsive delle porzioni QY e YP non solamente sulle correnti orizzontali DY e YC (100), ma pure sulle altre verticali AD, CB, poichè sono tutte ad angolo.

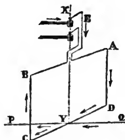


Fig. 143.

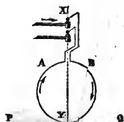


Fig. 144.

L'apparecchio della fig. 132 serve assai bene per eseguire questa esperienza.

Il teorema enunciato vale ugualmente per la posizione, che prende la corrente circolare AB (fig. 144) mobile intorno all'asse XY per l'azione della corrente indefinita PQ.

105. Rotazione continua delle correnti. Le attrazioni e le ripulsioni fra le correnti angolari, o pure tra una corrente indefinita e una corrente finita, sono atte a produrre una rotazione continua. Esaminiamone alcuni speciali esempi.

1.° Sia una corrente indefinita QP (fig. 145) e una corrente finita OA mobile intorno al punto O: la prima vada da Q verso P, la seconda da O verso A. È evidente che l'attrazione fra esse, perchè parallele e dirette pel medesimo verso, farà spostare OA dalla primitiva posizione, e poi l' azione attrattiva e ripulsiva delle due parti QN e NP la farà venire successivamente in OA', OA'', OA''', e così di seguito, imprimendole un moto di rotazione continuo. Se la corrente terminata andasse da A verso O concepirebbe un moto di rotazione in senso opposto.

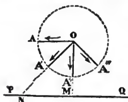


Fig. 145.

Adunque *una corrente terminata girevole intorno a un suo estremo roterà con moto continuo per l' azione di una corrente indefinita; e ciò avverrà o in direzione ad essa opposta, o nella medesima, secondo che si allontona da quell' estremo o vi si oppressa.*

2.° Non fa bisogno di dimostrazione a persuadersi, che succede pure e con la stessa legge la rotazione della corrente finita per l' azione d'una corrente circolare, il cui centro sia il punto intorno cui è mobile la corrente terminata.

3.° Ugualmente *una corrente circolare orizzontale produce movimento continuo di rotazione in una corrente rettilinea verticale, che si volgerà nel medesimo verso della prima o nell'opposto, secondo che è ascendente o discendente.*

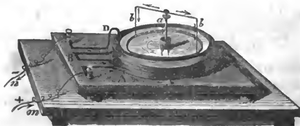


Fig. 146.

Si dimostra con l'apparecchio della fig. 146. Le sue parti sono 1.° una *vasca circolare* di rame con acqua acidulata; 2.° un *moltiplicatore circolare*, ossia una lunga striscia di rame vestita di seta e avvolta replicatamente sopra se medesima in maniera da potersi collocare attorno alla vasca, con cui è in contatto una estre-

mità della spira; 3.° un *conduttore mobile* cioè un filo di rame *bb* piegato a tre lati d'un rettangolo conginnto a nn anello leggerissimo di rame; pel suo mezzo è bilicato sopra una punta, che s'immerge nel mercurio della vaschetta *a* mentre l'anello pesca nell'acqna acidula.

Si dispongano ora queste parti così che la corrente dall'elettrodo positivo *m* entri nel moltiplicatore per A, e dopo averlo tutto percorso ne esca in B; d'onde per nn filo sottoposto ed isolato venga ad *a*, discenda pe' due rami verticali del conduttore mobile nell'acqua acidula, arrivi alla vasca, e da questa mediante la striscia di rame D e per l'elettrodo negativo *n* ritorni alla pila.

Chinso il circuito, si vedrà girare il condnttore sospeso in senso opposto alla corrente del moltiplicatore. La quale rotazione è dovuta all'azione delle correnti angolari del moltiplicatore sulle correnti terminate discendenti; giacchè le correnti nel filo orizzontale sono opposte, e le azioni sovr'esse a vicenda si distrnggono. Se ne'rami verticali la corrente fosse ascendente, la rotazione avverrebbe in direzione opposta.

106. **Azione de'solenoidi.** Ampère diè nome di *solenoide* (*) a un sistema di correnti circolari uguali e parallele. Per comporlo si avvolga ad elica sopra nn cilindro e sempre pel medesimo verso un filo di rame coverto di seta AB (fig. 147). Poichè le spire sono isolate, è chiaro che se una corrente il percorre,es-

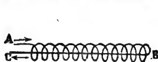


Fig. 147.


Fig. 148.

so sarà equivalente a tante correnti circolari quante sono le spire: ma v'à dippiù tante correnti rettilinee quanti sono i passi dell'elica, che costituiscono la intera lunghezza del cilindro: per neutralizzare l'azione di queste si fa che il filo ritorni da B fino a C in direzione rettilinea secondo l'asse, e si avrà così un *solenoide*, o come altrimenti il diciamo, nn *cilindro elettrodinamico*. Talvolta è fisso, o mobile a mano, sovente pure è sospeso e mobile intorno a un asse verticale (fig. 148) che passa pel suo mezzo.

(*) Felice derivazione dal greco σωλην che vale *tubo*, *cannello*.

Dalla natura de' solenoidi è agevole inferire quale debba esserne l'azione; identica cioè a quella d'un loro elemento, che è una corrente circolare, comunque di maggiore intensità.

Adunque 1.° Se al solenoide mobile (fig. 148) si avvicini una corrente rettilinea orizzontale, l'azione scambievole farà che il suo asse si disponga in croce con quella; poichè la corrente circolare e la rettilinea debbono trovarsi in uno stesso piano; e inoltre nelle parti vicine le due correnti avranno la medesima direzione.

2.° Se una corrente verticale passi daccanto al solenoide mobile, avrà luogo un'attrazione o una ripulsione, secondo che quella e la porzione di corrente elementare del solenoide che le si avvicina ànno la medesima direzione, o pure direzioni opposte.

3.° Fra due solenoidi vi sarà attrazione o ripulsione, secondo che nelle parti che si avvicinano le correnti elementari si muovono pel medesimo verso o per l'opposto. È agevole dimostrarlo avvicinando in differenti modi al solenoide sospeso AB (fig. 149) l'altro simile *ab* che si sostiene colla mano.

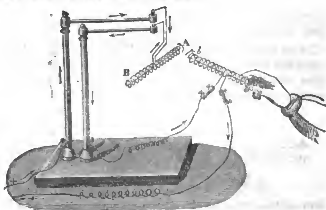


Fig. 149.

107. Azione direttrice della terra sulle correnti. Una corrente mobile prende per la sola azione della terra una determinata posizione, alla quale costantemente ritorna, se ne venga allontanata. Infatti:

1.° Se la corrente è *orizzontale*, si fissa in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, e in maniera che vada da oriente verso occidente.

2.° Se la corrente è *verticale* e mobile intorno a un asse altresì

verticale, si fissa in maniera che il loro piano sia perpendicolare al meridiano magnetico, e così che la corrente resti all'ovest se è ascendente, all'est se discendente.

3.° Sarà dunque un *sistema astatico*, ossia indifferente all'azione della terra quello, che vien formato da due conduttori paralleli o orizzontali e percorsi dalla corrente in opposte direzioni, o verticali e distanti ugualmente dall' asse di rotazione e percorsi dalla corrente nel medesimo verso. Di questa seconda specie sono i conduttori mobili delle fig. 131, e 133, e perciò sono più sensibili all'azione delle correnti che loro si appressano.

4.° Un *conduttore chiuso* circolare o rettangolare verticalmente sospeso, e mobile intorno a un asse verticale, che passa pel suo centro, si dispone anch' esso in un piano perpendicolare al meridiano magnetico, e così che la corrente vada inferiormente da oriente verso occidente. Nè può essere altrimenti, poichè le azioni della terra su i due rami orizzontali si distruggono (3), e su i rami verticali cospirano a fissarlo in quella posizione.

I conduttori mobili delle fig. 143, e 144 sospesi all'apparecchio della fig. 132 sono atti a dimostrare tal teorema.

5.° *Anello galleggiante.* De la Rive à imaginato quest'apparatino, che ben si presta a dimostrare l'azione della terra su i conduttori circolari. Esso consiste in un filo di rame piegato a circolo, ad un cui estremo è saldata una laminetta di rame, all' altro una di zinco: mediante sughero galleggia sull'acqua acidula, in cui pescano le lamine metalliche. È chiaro che verrà percorso così da una corrente diretta pel filo dal rame allo zinco; e prenderà la posizione indicata.

6.° *Direzione di un solenoide.* La forza direttrice della terra sopra un solenoide dev'essere naturalmente più poderosa; e poichè un suo elemento si dispone perpendicolare al meridiano magnetico, il suo asse sarà nel meridiano stesso, e per modo che le correnti il percorrano inferiormente da est all'ovest; anzi se il solenoide fosse mobile com'è d'uopo, il vedremmo col suo asse parallelo all'ago d'inclinazione.

Può servire a quest' uso il solenoide sospeso senz' altro come nella fig. 149, o anche un solenoide galleggiante alla maniera dell'anello di De la Rive.

108. **Rotazione prodotta dalla terra nelle correnti.** La terra è capace di produrre rotazione continua in una cor-

rente orizzontale mobile intorno ad un suo estremo, per modo che essa si volga dall'est all'ovest se va dal centro alla circonferenza, e dall'ovest all'est se dalla circonferenza al centro. Per dimostrare questo fatto si adoperi la vasca e 'l conduttore della fig. 146, da cui si tolga il moltiplicatore circolare, e si faccia entrar la corrente dall'elettrodo *m* per la colonnetta *a* nel conduttore mobile, dal quale per l'acqua va alla vasca, e quindi all'elettrodo negativo *n*. I rami verticali costituiscono un conduttore astatico (107, 3°), e il sistema si volge per la sola azione sulle correnti orizzontali.

Di quì si comprende che nella esperienza riferita di sopra (105, 3°), la rotazione debba essere accelerata o ritardata, secondo che l'azione del moltiplicatore e della terra tendono a produrre rotazione pel medesimo verso o per l' opposto.

109. Teoria di Ampère sulle correnti terrestri. Bastano questi fatti per trarne la dimostrazione del principio di Ampère riguardante le correnti terrestri. Può enunciarsi così :

La terra agisce sulle correnti come se essa fosse percorsa da correnti, le quali avessero direzione parallela all'equatore magnetico, andassero da oriente verso occidente, e fossero più intense verso l' equatore che verso i poli.

La identità d' azione della terra e delle correnti dirette a quel modo è una conseguenza immediata delle esperienze descritte : e le figure stesse 143, 144, e simili, la rappresentano, sol che PQ indichi la corrente terrestre andante da Q verso P. Che poi queste correnti sieno più valide verso l' equatore, si argomenta dalla seguente esperienza. Si disponga una corrente orizzontale parallela all' equatore magnetico e all' asse intorno cui è mobile: se è diretta da oriente ad occidente si sposterà verso il sud, se da occidente ad oriente si sposterà verso il nord ; adunque prepondera l' azione delle correnti equatoriali, la quale è attrattiva nel primo caso, ripulsiva nel secondo.

FENOMENI ELETTRO-MAGNETICI.

110. Scoverta di Romagnosi e di Oersted. Il celebre giureconsulto Romagnosi nel 1802 osservò, che passando una corrente dappresso all'ago di declinazione la spostava d'alquanti gradi. Questo fatto di somma importanza, che legava la elettricità al

magnetismo, anzi servir dovea per iscovrire la identità de' due agenti, comecchè annunziato dalla gazzetta di Trento, e riconosciuto in Parigi nel 1804 da Aldini nipote di Galvani e da Izarn, pur tuttavolta rimase ignoto alla generalità de'dotti. Ne fu data la gloria al prof. Oersted di Copenaghen, il quale nel 1819 studiò ampiamente il fenomeno,e scovrì la relazione tra la giacitura e la direzione della corrente e la deviazione dell'ago.

Sieno dunque *a*, *b* (fig. 150), i poli nord e sud d'un ago calamitato orizzontale in equilibrio sopra una punta, ed NS un filo di rame ad esso parallelo e giacente nell' istesso piano verticale. Non appena pel filo passa una corrente, che l'ago si sposta e tende a mettersi in croce ossia ad angolo retto con esso.

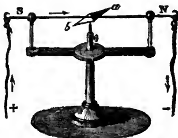


Fig. 150.

La deviazione è maggiore o minore secondo la forza della corrente; il senso poi della deviazione è strettamente legato con la direzione e giacitura della corrente secondo le quattro ipotesi che possono aver luogo.

1ª e 2ª. Se la corrente si trova sopra l'ago, quando va da Nord a Sud il polo nord dell'ago è deviato verso occidente, come nella figura; e quando va da Sud a Nord il polo nord dell'ago è deviato verso oriente.

3ª e 4.ª Se la corrente si trova sotto l'ago, allorchè è diretta da Nord a Sud il polo nord dell' ago è deviato verso oriente, e verso occidente allorchè è diretta da Sud a Nord.

Legge e formola di Ampère. Andiam debitori ad Ampère per avere scoverto la legge di quest' azione, e per aver trovato un ingegnoso modo di rappresentarla.

La legge è la seguente. *L' azione d'una corrente sull' equilibrio di un ago calamitato è nella ragione inversa della semplice distanza.*

Egli inoltre à ideato di rappresentare la corrente con la figura di un osservatore, che abbia costantemente la faccia rivolta all'ago, si distenda parallelo ad esso, e sia percorso dalla corrente dai piedi alla testa: in questa ipotesi *il polo nord dell' ago si volgerà sempre alla sinistra dell' osservatore.*

Se la calamita fosse immobile e girevole il conduttore, questo del pari si moverebbe tendendo a porsi in croce con quella.

111. Galvanometro o reometro. Del potere che à la corrente di far deviare un ago calamitato si valse Schweigger professore ad Halla per ideare un istrumento atto a indicare l'esistenza, la direzione, e la forza d'una corrente. Fu chiamato *galvanometro* da Ritchie, e poi *reometro* da Peltier.

Sua costruzione. Il galvanometro si compone d'un telarino ABi (fig. 151) di avorio o di legno, intorno al quale è avvolto un filo di rame vestito di seta, cui estremi vanno a terminare inferiormente alla traversa D nelle due viti di pressione C, C'. Esso è sostenuto da una base, che mediante le tre viti calanti V può disporsi orizzontale: su questa sono impiantate le due aste H, H, congiunte nel bottone K, al quale per mezzo del filo di bozzolo senza torsione L è sospeso un sistema di aghi astatico. Un ago del sistema è nell'interno del telaio AB, un altro di sopra: questo secondo fa da indice scorrendo pel cerchio graduato S. La graduazione va fino a 90° da un lato e dall'altro dello zero, il quale risponde alla posizione dell' ago parallelo alle spire del filo. Per ridurre con facilità l' ago allo zero, il telaio S è mobile intorno all' asse verticale, che coincide col filo di sospensione L mediante la vite perpetua E. Da ultimo l'istrumento è preservato dall'agitazione dell'aria con la campana di cristallo PP'.

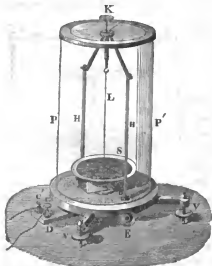


Fig. 151.

Teoria. Per intenderne la teoria, esaminiamo l'azione che sull'ago sospeso *ab* (fig. 152) esercita un elemento solo della corrente, che costituisce il moltiplicatore. Poichè delle due correnti orizzontali una è sotto l'ago, l' altra sopra, esse produrrebbero deviazioni contrarie nell'ago; ma le loro direzioni sono anche opposte, perciò entrambe cospirano a far deviare l'ago pel medesimo verso. Adunque l'azione della corrente sull'ago sarà la risultante

di quelle de' singoli avvolgimenti. Ma con la lunghezza del filo cresce pure la resistenza che le correnti incontrano, e non tutte sono ugualmente atte a vincerla: cresce pure la distanza degli strati superiori di filo dall' ago, per che l'azione è minore. Si usano perciò due galvanometri, l' uno detto *di quantità*, l'altro *di tensione*. Il primo è formato d'un filo relativamente grosso e corto: il secondo è a filo sottile e lungo. Per alcune diiicate esperienze la lunghezza del filo arriva a venti mila e anche più metri.

Il Cavalier Leopoldo Nobili aggiunse sensibilità al galvanometro, sostituendo il sistema astatico di aghi ad un ago solo, il quale pel contrasto della forza direttrice terrestre risente meno l'azione della corrente. Sia dunque *ab*, *a'b'* (fig. 153), il sistema astatico

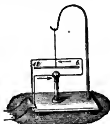


Fig. 152.

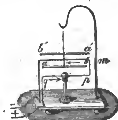


Fig. 153.

sospeso al sostegno *m*: la corrente *qp* circoli intorno al primo *ab*, l'altro *a'b'* è collocato di sopra. Adunque questo secondo ago è sottoposto all'azione di due correnti orizzontali opposte, ma a distanza ineguale. La più vicina eserciterà azione più valida e tenderà a far volgere l'ago *a'b'* nell'istesso senso che l' ago *ab* giacendo fra entrambi, ed avendo essi i poli opposti diretti dalla stessa parte.

Se il sistema di aghi fosse perfettamente astatico, ogni corrente comunque debole produrrebbe la deviazione finale massima di 90°, e 'l galvanometro non potrebbe servire a misurarne la intensità: inoltre cessato il passaggio della corrente, l'equilibrio dell'ago sarebbe indifferente in qualunque azimut, e riuscirebbe incommodo ricondurlo allo zero. Per torre questo doppio inconveniente si serba una lieve differenza nel magnetismo degli aghi.

Graduazione. La deviazione dell'ago è lungi dal rispondere con giusta proporzione alla intensità della corrente che la produce. Ad esempio non basta una corrente di doppia forza per produrre una deviazione doppia. Nè può essere altrimenti, cangiandosi con lo spostamento dell' ago la sua posizione angolare con le spire.

A persuadersene sperimentalmente,si usa il galvanometro a due fili, facendo passare per essi due correnti *a*, *b*, le quali separatamente produrrebbero la stessa deviazione nell'ago. Si trova così che la deviazione uguaglia la relazione tra le correnti sino a 15° circa, non così per le deviazioni maggiori. Ma dell' istesso mezzo si può fare uso per la graduazione, ossia per determinare quale deviazione corrisponde a corrente di forza conosciuta. Si trovi cioè una terza corrente *c*, che produca una deviazione pari a quella delle due prime *a*, *b* insieme: questa sarà di forza doppia di una di quelle: or mentre per un filo passa la corrente *c*, vada per l'altro o *a* o *b*, e si noti la deviazione dovuta alla forza tripla, e così di seguito.S'impiega poi un doppio metodo: o si divide la scala proporzionalmente ai risultati di queste ricerche, o pure si fanno uguali le divisioni della scala e si usa una tavola per interpretarne i valori.

Marianini ideò un *moltiplicatore a fili diametrali*, nel quale cioè il filo si avvolge non parallelo a se medesimo, ma intorno a un telaio cilindrico passando in ogni rivolgimento pe' centri delle due basi: così la posizione dell'ago è sempre la stessa riguardo al sistema de' fili; ma questi non ne sono tutti ugualmente lontani, il che pure è un grave inconveniente.

Il galvanometro a due fili serve anche per conoscere la differenza tra due correnti, che si fanno andare insieme pe' due fili in direzioni opposte, per cui vien detto *galvanometro differenziale*.

Compensatore. Ogni galvanometro à un determinato grado di sensibilità; per che fa d' uopo averne parecchi adatti alle diverse esperienze. Melloni à ideato un *compensatore*, ed è una calamita, la quale collocata a una certa distanza dall'ago il rende più torpido. Ruhmkorff ne à perfezionata la costruzione componendolo di due verghe congiunte ad angolo variabile. Con esso un solo galvanometro equivale a molti di sensibilità differente.

112. Rotazione delle correnti per azione delle calamite. Un conduttore percorso da corrente o una calamita possono acquistare rotazione continua per la loro mutua influenza. Vediamone alqnanti esempi, e prima di rotazione de'conduttori.

1.° *Rotazione di un conduttore rettilineo intorno ad una calamita verticale*. Questo è l' esperimento più semplice per dimostrare cotanto maravigliosa scoverta di Faraday. Si può eseguire a questo modo: tolto il moltiplicatore circolare dall' apparecchio della

fig. 146 si sottoponga alla colonnetta *a* un fascio magnetico, il cui asse coincida coll'asse di rotazione del conduttore *bd*; e tosto questo si metterà a girare per un verso o per l'altro, secondo che la corrente ne' rami verticali è discendente o ascendente, e gli si è avvicinato il polo nord o il polo sud della calamita.

In mancanza di quell'apparecchio si può condurre l'esperienza altrimenti. In un tubo di cristallo s'introduca un polo d'una calamita di diametro alquanto minore; vi si fissi con mastice, e disposto verticalmente il sistema, nello spazio d'intorno si versi un poco di mercurio. In alto del tubo è adattato un anello metallico, dal quale pende per mezzo d'un gancetto un filo conduttore che pesca nel mercurio. Non appena un reoforo tocca quell'anello, e l'altro la calamita, il conduttore gira intorno a questa; il verso dipende dalla direzione della corrente, e dalla posizione de' poli.

2.° *Spirali di Watkins.* Si fermi sopra una base una calamita a ferro di cavallo colle due branche verticali e rivolte in sopra. Ciascuna finisce con una cavità contenente mercurio, e comunicano fra loro per un filo di platino. Inferiormente ogni branca della calamita à congiunta una vaschetta anulare di bosso anche con mercurio. Si abbiano poi due spirali cilindriche con le punte in giù: ogni spirale circondi una branca della calamita, e le si possa volgere intorno, avendo immersa una punta nel mercurio della cavità superiore, l'altra in quello della vaschetta sottoposta.

Or se gli elettrodi pescano nel mercurio delle due vaschette inferiori, la corrente sarà ascendente per una spirale, discendente per l'altra, ed entrambe gireranno per l'istesso verso, ma a destra o a sinistra secondo la posizione de' poli.

3.° *Ruota girante di Barlow.* Tale ingegnoso ordigno consiste in una ruota dentata di lamina di rame leggerissima, e mobilissima in un piano verticale intorno ad un asse orizzontale, che passa pel suo centro, ed è sostenuto per gli estremi da una verga di rame biforcata. Alquanti denti della ruota pescano nel mercurio di una cavità praticata sopra un rettangolo di legno, e ai suoi due lati vi sono i poli opposti di una poderosa calamita a ferro di cavallo orizzontale. Comunicando da un lato i reofori con la verga che sostiene l'asse di rotazione, dall'altro col mercurio, è chiaro che le correnti andranno secondo i raggi della ruota o dal centro alla periferia nel mercurio o viceversa; e la ruota gira e tanto rapidamente da non potersi seguire ad occhio.

4.° *Cilindro girante di Marsh.* Anche un elemento di pila può rotare per azione della calamita. Imaginiamo infatti una specie di vaschetta cilindrica anulare di rame; all'orlo della sua lamina interna è saldato un archetto di rame, che per mezzo di una punta si sospende in una piccola cavità praticata in cima ad una calamita cilindrica verticale. Nella vaschetta si pone acqua acidula, nella quale è immersa una sottile lamina di zinco piegata pure a cilindro, e mediante un simile archetto di rame con punta è poggiata nel centro del precedente arco di rame.

Per tale maniera di sospensione il rame e lo zinco di questa specie di elemento alla Wollaston sono girevoli, e indipendentemente l'uno dall'altro, intorno all'asse proprio e della calamita; e difatti si osserva che girano in direzione opposta.

5.° *Rotazione del mercurio.* Col movimento prodotto sul mercurio da una calamita Humphry Davy à dimostrato che « *una corrente, o una massa di correnti, le quali s' irraggiano da uno stesso punto, girano intorno ad esso per l'azione d'una calamita.* Si versi infatti del mercurio in una vaschetta, e immersi nel mercurio i reofori si presenti verticalmente tra essi una calamita poderosa: il mercurio girerà intorno al reoforo positivo, e invertesi il senso della rotazione cangiando di sito i reofori. Riesce meglio l' esperimento versando sul mercurio un po' d' acqua acidulata.

113. Rotazione delle calamite per influenza delle correnti. Questo movimento di rotazione in una calamita verticale può ottenersi in due modi: o così che giri intorno al proprio asse, o intorno a un asse esterno e parallelo.

1. Riempiasi fin presso all'orlo di mercurio un bicchiere col piede B (fig. 151). Nel suo mezzo introducasi una calamita cilindrica *ab*, la quale perchè vi s'immerga, restandone una piccola porzione sporgente, e vi si tenga dritta, vien gravata inferiormente d'un contropeso di platino *p*, come di fianco nella figura. A' due lati del bicchiere sono impiantate due colonnette metalliche A, D con braccia orizzontali: il braccio della colonnetta A finisce con la punta scorrevole C che tocca il mercurio della vaschetta metallica *a* fissata in cima della calamita; e quello della colonnetta D finisce con anello metallico, che tocca la superficie del mercurio nel bicchiere B.

Ciò posto, se con viti di pressione si uniscano l'elettrodo positivo con A, il negativo con D, la corrente scenderà per la punta

nella calamita, s'irraggerà all'anello, d'onde andrà all'elettrodo negativo. E la calamita girerà per un verso o per l'altro secondo la disposizione de'suoi poli per la influenza, che sovr'essa esercitano le correnti raggianti sul mercurio. Il senso della rotazione s'inverte altresì cambiando il sito de'reofori.

2. Per avere l'altro modo di rotazione, la punta G (fig. 155) toc-

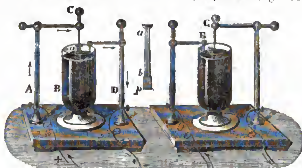


Fig. 154. Fig. 155.

chi il mercurio, l'altro braccio E sostenga l'anello, e la calamita galleggi fra entrambi; essa allora si volgerà parallelamente a se stessa, e all'asse verticale che passa per la punta G.

114. Teoria di Ampère sulle calamite. Tutti questi fatti spettanti all'azione delle correnti e delle calamite e della terra, che sembrano slegati tra loro, sono stati annodati insieme, e pienamente spiegati da Ampère mediante una sola ipotesi sublime e felice oltre quanto può dirsi. Nè questi solamente; ma anche tutt'i fenomeni del magnetismo, cioè dell'azione delle calamite fra loro, e della terra sulle calamite; e d'una maniera così completa da far dimenticare per sempre qualunque ipotesi de'fluidi magnetici. Ampère à imaginato che ogni molecola d'una calamita sia circondata da correnti circolari parallele fra loro, le quali si volgano perennemente all'esterno e all'interno di essa e tutte pel medesimo verso. Considerando dunque uno strato di molecole perpendicolare all'asse della calamita, è agevole intendere che tutte le loro correnti elementari avranno come per risultante comune una corrente circolare perpendicolare pure all'asse della calamita; e la calamita intera equivarrà a un sistema di correnti circolari parallele fra loro e perpendicolari all'asse. Con ciò *una calamita non è altra cosa che un cilindro elettro-dinamico*; nel quale però fa mestieri

che, essendo quella nella posizione dell'ago di declinazione, le correnti vadano nella parte inferiore da est verso ovest.

La terra pure, che nella sua azione sulle calamite si comporta come grande calamita, non è per Ampère che un immenso solenoide percorso da correnti circolari perpendicolari al meridiano magnetico, e andanti da oriente verso occidente.

Applichiamo la ipotesi alla spiegazione de' fatti.

1. La deviazione di un ago per opera della corrente ne'suoi vari casi (fig. 110) riducesi all' azione tra una corrente rettilinea e una circolare: la corrente mobile gira finchè riducansi parallele e dirette ugualmente.

2. L'azione attrattiva e ripulsiva tra una calamita e una corrente è identica all'azione tra due correnti, secondo che quella la quale circola nel polo della calamita va nel medesimo senso con la corrente del conduttore, o nell'opposto. Per assicurarsene basta avvicinare prima un polo, poi l'altro a uno qualunque de' conduttori sospesi della fig. 132, o all'anello galleggiante.

3. La rotazione d' un conduttore per la calamita sarà l'istessa cosa che quella prodotta da un moltiplicatore circolare (fig. 146); e la rotazione d' una calamita si ridurrà all' azione delle correnti raggianti sopra un conduttore circolare.

4. L'azione scambievole tra i poli delle calamite sarà perfettamente identica a quella tra due solenoidi (fig. 149).

5. Nè fa bisogno d' altro per intendere come resti spiegata del pari l'azione della terra sopra le correnti e le calamite, avendo già dimostrato (109), che la terra agisce su quelle come se fosse percorsa da correnti andanti nella direzione indicata.

Globo di Nobili. Un tal modo di azione della terra si rende sensibile col *globo elettro-magnetico* ideato dal Nobili nel 1822, e da lui così descritto « Niun istrumento rappresenta il magnetismo terrestre meglio di una palla sferoidale vestita all' intorno di un filo metallico, che faccia i suoi giri nella direzione de' paralleli, e comunichi co'suoi capi alle estremità zinco e rame di un apparato voltiano. Reca realmente piacere l'osservare come bene su questa palla l'ago magnetico si diriga ai poli, e come esso tenda fortemente ad inclinarsi verso la superficie appena passa dalle zone equatoriali alle polari; è questo uno di quegli istrumenti, che parlano in pari tempo all'occhio e allo spirito. Questi movimenti dell'ago sono una necessaria conseguenza delle polarità e dell'equa-

tore magnetico dei solenoidi ». A torto si attribuisce a Barlow che ne suggerì la idea ben due anni dopo a Birkbeck.

MAGNETIZZAZIONE PRODOTTA DALLE CORRENTI.

115. **Scoverta di Arago.** Una bella conferma della identità de'fenomeni delle correnti e delle calamite si à dalla calamitazione prodotta dalle correnti. Arago si avvide che il filo congiuntivo attrae la limatura di ferro. Per rendere ben sensibile il fenomeno si avvolga in forma di spirale piana un filo di rame coverto di seta, e mentre è percorso dalla corrente si avvicini alla limatura di ferro; questa vi si attacca a pennacchio come ad una calamita, e quando cessa la corrente ne cade; adunque le particelle di ferro si calamitano per azione della corrente.

Calamitazione delle verghe, posizione dei poli. Per calamitare una verga di acciaio col mezzo della corrente, si usa avvolgere ad elica un filo di rame coverto di seta attorno a un cannello di vetro, nel quale s'introduce la verga, e gli estremi del filo mettonsi in comunicazione coi poli della pila. Dalla maniera come il filo è avvolto dipende la posizione de' poli nella calamita; poichè si può formare l'elica *dextrorsum* o *a destra*, e *sinistrorsum* o *a sinistra*; dicesi *a destra* allorchè si avvolge il filo da sinistra a destra per la parte superiore, e *a sinistra* quando si avvolge nel modo opposto. Nel primo caso si formerà un polo sud da quella parte, per la quale entra la corrente nel filo; nel secondo si avrà quivi un polo nord. Se dopo aver avvolta una porzione di filo per un verso, si cambia direzione e si prosegue ad avvolgerlo in senso opposto, colà si formeranno due poli conseguenti, e agli estremi due poli del medesimo nome.

116. **Elettro-calamite.** Il ferro e l'acciaio calamitati con la corrente presentano le stesse differenze che cogli altri metodi (23); perchè quello manca, questo è dotato di forza coercitiva.

Dicesi *elettro-calamita* propriamente o *calamita temporanea* una verga di ferro dolce calamitata per azione della corrente. Generalmente si piega un cilindro di ferro dolce a ferro di cavallo, intorno cui si avvolge un filo di rame coverto di seta a spire fitte e a strati sovrapposti prima sopra un ramo A, poi sopra l'altro B (fig. 156), e sempre pel medesimo verso, in maniera che il secondo solenoide sia continuazione del primo, affinchè agli estremi

emergano poli eteronimi. La elettro-calamita si sospende verticalmente pel suo mezzo; ai poli si avvicina l'ancora, alla quale per un gancio son raccomandati i pesi. Talvolta pure si usano le *elettro-calamite coniugate*; si sopprime cioè l'ancora, ed una seconda elettro-calamita ne fa le veci, in maniera però che vengano a contatto i poli opposti di entrambe.

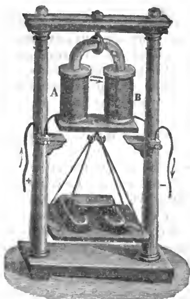


Fig. 156.

Invertendo la posizione de' reofori, i poli si cambiano; e aprendo il circuito, il peso cade d'un colpo, sebbene sia difficile che cessi all'istante tutto il magnetismo acquistato.

Si sono costruite dell'elettro-calamite di una forza maravigliosa, atte a reggere più migliaia di chilogrammi; per che quasi esclusivamente di esse si fa uso in calamitare grosse verghe di acciaio.

117. Teoria e leggi. In due modi si potrebbe concepire la magnetizzazione prodotta da una corrente e da una calamita nel ferro o nell'acciaio; 1.° ammettendo che la presenza della corrente o della calamita produca nel ferro e nell'acciaio delle correnti in tutte le particelle, come sono richieste dalla teoria di Ampère sulle calamite; ma noi vedremo che le correnti prodotte in tal modo non sono che istantanee, e soggette a leggi speciali che non si avverano nella magnetizzazione; 2.° supponendo che le correnti preesistano nelle singole particelle, ma dirette indistintamente per ogni verso e senza avere una risultante comune; vengono poi coordinate in virtù della corrente o della calamita e acquistano direzione comune, la quale è passeggiera nel ferro, permanente nell'acciaio. Questa ipotesi risponde abbastanza alla spiegazione de' fatti, ed è generalmente ricevuta.

In quanto poi alle *leggi* dell'elettro-calamite è da notare, che la loro forza dipende dalla natura della pila e dal numero degli ele-

menti in relazione con le dimensioni della verga, del diametro e della lunghezza del filo, e del numero degli avvolgimenti, come sarà detto poi. Quì basti accennare che, se le coppie della pila sono poche, deve usarsi un filo grosso e corto, se molte si preferisce un filo lungo e sottile. Inoltre si osservi come il vantaggio che si trae dal numero delle spire può essere annullato o anche mutato in discapito dalla maggiore distanza, o dalla soverchia lunghezza del filo. De Haldat dal vedere, che un cilindro vuoto di ferro dolce introdotto in una spirale si calamita ugualmente sia qualunque la sua spessezza, à dedotto che il magnetismo risiede tutto nella superficie presso che senza influenza della massa.

118. Azione delle calamite su tutt'i corpi. Coulomb dal numero delle oscillazioni, che aghi di diverse sostanze sospesi tra i poli di due fasci magnetici compiono nello stesso tempo, avea dedotto che il magnetismo agisce su tutt'i corpi sebbene con diversa intensità. Fra i vari modi di spiegare quest'azione generale vi fu quella di attribuirla a particelle esilissime di ferro frammiste ai corpi, ma in proporzioni sì tenui, da sfuggire alle più squisite analisi. Lebaillif però venne a scovrire che l' antimonio e 'l bismuto respingono un ago calamitato, invece di attrarlo. Dopo ciò la quistione rimase indecisa, finchè nel 1847 Faraday ne riprese l' esame. Ei si valse d' una potentissima elettro-calamita a ferro da cavallo (fig. 157); tra i suoi poli S, Q, sospese con filo esilissimo di argento o di seta i differenti corpi, e vide che tutti risentivano l'azione del magnetismo, ma non ugualmente.



Fig. 157.

Corpi magnetici e diamagnetici. Il fisico inglese distinse tutt' i corpi in due classi: chiamò *magnetici* quelli, che ridotti in forma di parallelepipedo rattangolo *m* o di cilindro si dispongono secondo la *linea assiale*, o la *linea di forza magnetica*, quali nomi egli diede alla retta che unisce i poli della elettro-calamita; disse poi *diamagnetici* quelli che dirigonsi nella *linea equatoriale*, la quale forma angoli retti colla prima nel suo punto medio.

Egli trovò magnetici non solo il ferro, il cobalto, il nichelio, ma anche i loro composti, ne' quali essi entrano come elementi positivi; e così pure i metalli seguenti: titanio, manganese, cerio, cromo, platino, palladio, osmio; non che le soluzioni di tutt'i loro

composti. Per isperimentare su i liquidi, introduconsi in recipienti cilindrici chiusi senza sughero, che per se è magnetico.

Gli si mostrarono diamagnetici tutti gli altri metalli, e moltissime sostanze naturali ed artificiali, inorganiche ed organiche, sieno solide, sieno liquide.

I gas sono magnetici a temperatura ordinaria, diamagnetici a temperatura elevata. Cosicchè nessun corpo è assolutamente neutro o indifferente a questo genere di azione ; ma si può formare un miscuglio indifferente con una sostanza magnetica, ed una diamagnetica in convenienti proporzioni.

Spiegazione del fenomeno. La direzione de'corpi magnetici nella linea assiale è dovuta alla polarità, che essi acquistano sotto l'influenza della calamita; cioè la estremità più vicina ad un polo diventa polo di nome contrario, e ne resta attratto.

Per l'opposto la posizione de' corpi diamagnetici è un effetto di ripulsione. E per fermo Faraday sperimentò sulle prime sopra un parallelepipedo di *vetro pesante*, che è un boro-silicato di piombo. Il sospese tra i poli della elettro-calamita così, che il suo asse fosse obbliquo alla linea assiale, e costantemente il vide disporsi secondo la equatoriale, alla quale posizione ritornava tutte le volte che ad arte ne veniva allontanato : questa dunque era la posizione di equilibrio stabile. Se destramente il dirigeva secondo la linea assiale, vi restava; ma per poco che ne fosse allontanato compiva un quarto di rotazione, e passava all'equatoriale; onde quella prima era posizione di equilibrio instabile. Collocando due piccoli cubi di vetro pesante nella linea assiale alquanto distanti fra loro, la ripulsione de'due poli li spingeva ad avvicinarsi come se si attraessero. E finalmente impiegando una elettro-calamita rettilinea, si vide che essa respinge indefinitamente un piccol cubo di vetro pesante secondo tutte le direzioni.

Plucher collocando tra i poli della elettro-calamita S, Q (fig. 158), un vetro da orologio con un liquido, à veduto che, se questo è magnetico presenta un rigonfiamento A, o due B, secondo la distanza da' poli per l'attrazione esercitata da questi : prende poi una posizione opposta perchè respinto da' poli se è diamagnetico.

Finalmente Bancalari in quanto al diamagnetismo degli aeriformi à scoverto che una fiamma dai poli S, Q (fig. 159) fortemente respinta, in certe posizioni diminuisce di altezza e cresce in larghezza, in altre poi si sfigura altrimenti.

È da notare però, che talvolta il dirigersi d'un corpo secondo la linea assiale o equatoriale è un fenomeno relativo, non assoluto. Così in quanto ai corpi magnetici, un tubo pieno di soluzione d'un sale di ferro e immerso in soluzione dell'istesso sale potrà dispor-

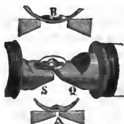


Fig. 158.



Fig. 159.

si nella linea assiale, o rimanersi indifferente, o dirigersi nella linea equatoriale, secondo che la densità della prima soluzione supera quella della seconda, la uguaglia, o ne è minore ; poichè la soluzione che più si avvicina alla saturità è anche più magnetica. Intendasi l'opposto de'corpi diamagnetici. Cosicchè relativamente a questi fenomeni si avvera quel medesimo che ad un corpo immerso , il quale va alla superficie, o resta in equilibrio , o scende al fondo, secondo la ragione tra la sua densità e quella del liquido.

Faraday rende ragione del diamagnetismo ammettendo, che in avvicinare un corpo diamagnetico a potente calamita si generino in esso delle correnti in tale direzione da produrre de'poli omonimi, donde la ripulsione ; al contrario di quel che succede pe'corpi magnetici.

CORRENTI D'INDUZIONE.

119. Induzione elettro-dinamica. A quel modo che esiste la influenza elettrostatica, v'è pure una *induzione elettro-dinamica*; ossia una corrente è capace di produrne un'altra in un circuito chiuso: quella prima dicesi *inducente*, questa seconda si chiama *indotta*. Somigliante influenza esercitano pure le calamite , e la terra. Questa scoverta, che tante altre ne produsse, fu annunziata da Faraday nel 1831.

Per dimostrare la induzione delle correnti, si avvolgono a spira intorno a un cilindro di legno un primo e un secondo filo di rame coverti di seta,e l'uno dall'altro isolati (fig. 160). I capi d' uno

stesso filo *a*, *b* sieno in comunicazione col galvanometro, i capi dell'altro *c*, *d* si uniscano a'poli della pila. Nell'atto di chiudere il circuito della pila l'ago del galvanometro devia indicando una corrente nel circuito indotto in senso opposto della corrente inducente: mentre il circuito è chiuso l'ago ritorna sullo zero: allorchè di nuovo si apre, l'ago devia pure, ma dall'altra parte, e poi si ferma novellamente a zero.

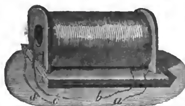


Fig. 160.

Si può sperimentare anche altrimenti. Si formino due *spirali piane* con fili o con lunghe strisce di rame coverti di seta: tenendole discoste l'una dall'altra, i due estremi della prima comnnichino col galvanometro, i due estremi della seconda con la pila. Nell'atto di accostarle rapidamente, l'ago devia da un canto, torna a zero, e quando si scostano devia dall'altro canto.

Adunque *la corrente indotta è sempre istantanea*; *nel chiudere il circuito*, o comunque altrimenti *al cominciar dell'azione*, *è opposta alla corrente inducente*; *alla fine dell' azione à direzione opposta alla prima, cioè è diretta come la inducente*.

Se le spirali sono bene isolate si ànno pure correnti indotte con la scarica della bottiglia di Leyda. Laonde è sodisfacente la spiegazione delle correnti d'induzione data da De la Rive, il qnale le paragona ai fenomeni d'induzione elettrostatica, attribuendole al sncessivo spostamento dell' elettrico nelle molecole del circuito indotto allorchè passa la corrente nel circuito inducente.

120. **Induzione di una corrente sopra se medesima, estra-corrente.** Se una corrente passa per un filo avvolto a spira acquista forza maggiore in cambio d' indebolirsi, come dovrebbe succedere per la maggiore resistenza del filo; e così difatti accade allorchè questo è rettilineo. Ma il rafforzarsi non è che all'aprirsi del circnito, mentre nel chiudersi s'indebolisce. E per fermo quando il circuito si chiude manca sovente la scintilla, o è sbiadita, e allorchè si apre brilla di luce più viva. Qneste differenze son dovute all'azione scambievole tra le spire vicine, e alla corrente d'induzione che si genera in esse detta pure *estra-corrente*, la quale in aprirsi il circuito rafforza la corrente della pila. Abria à trovato, che la intensità della estra-corrente può giungere fino a 0,72 della corrente che la produce.

121. Correnti indotte di varii ordini. Henry à scoverto che le correnti indotte sono capaci esse medesime di produrre per induzione altra corrente. A tal fine si sovrapponga ad una spirale piana, i cui capi debbano congiungersi co'poli della pila, una coppia di simili spirali piane comunicanti fra loro cogli estremi de'conduttori; a questa una seconda coppia, e così di seguito. Mentre si chiude o si apre il circuito della prima spirale, in tutte le coppie si generano correnti indotte. Volendo determinarne la direzione, nel circuito di ogni coppia s'introduce una piccola spirale cilindrica con entrovi un ago di acciaio: questo rimane calamitato, e dalla posizione de' suoi poli si argomenta la direzione della corrente indotta che vi à ingenerato magnetismo.

La legge è la seguente: *la corrente di primo ordine nell'aprirsi il circuito è diretta come la inducente, le altre ànno tutte direzione opposta a quella che immediatamente le precede.*

Che una corrente d' induzione benchè istantanea sia pure adatta a indurne un'altra, non bene s' intende; poichè dovrebbe produrne due opposte nell'istante di sua durata, le quali si distruggerebbero, a meno che non voglia supporsi più intensa quella che equivalentemente sarebbe prodotta al cominciare di sua azione.

122. Induzione magneto-elettrica. I fenomeni d' induzione prodotti dalle calamite sono una bella conferma della teoria amperiana sul magnetismo.

Gli estremi di una spirale piana comunichino col galvanometro. Se al centro della spirale si avvicina il polo d'una poderosa calamita, l'ago del galvanometro deviando indicherà nella spirale una corrente indotta opposta a quella, che si suppone nel polo della calamita; ritorna poi a zero; e scostando quel polo, una seconda deviazione mostrerà una corrente contraria alla prima.

Congiungansi pure i capi del filo d'una elettro-calamita col galvanometro. Se si portano a contatto cogli estremi del ferro dolce i due poli di una calamita a ferro di cavallo, si vedrà all' istante l'ago del galvanometro deviare per una corrente indotta nella spirale della elettro-calamita opposta a quella, che nel ferro avrebbe cagionata la presenza della calamita: ma tosto l' ago si rimette sullo zero, per deviare oppostamente allorchè la calamita si scosta. Accade il medesimo se ad un solo estremo del ferro si avvicini un polo della calamita e poi se ne allontani.

In fine compongasi una spirale cilindrica, i cui capi comunichi-

no al solito col galvanometro: introducendo nella spirale un polo d'una verga calamitata, e poi estraendonelo si vedranno nell' ago due opposte deviazioni. Che se la calamita si avanza da un estremo all'altro della spirale: l' ago indicherà da principio una deviazione, che man mano andrà diminuendo nell' accostarsi quella al mezzo della spirale, fino a divenire nulla; e quando la calamita si trae fuori per l'altro estremo della spirale, la deviazione dell' ago diviene opposta.

Adunque *una calamita produce correnti indotte nell'istessa guisa che farebbe un solenoide amperiano.*

123. Macchine magneto-elettriche. Le correnti indotte dalle calamite possono giungere a forza considerevole, e produrre tutti gli effetti delle correnti voltaiche.

Calamite conjugate. Nobili e Antinori furono i primi a ideare sotto questo nome una macchina magneto-elettrica, composta di due potenti fasci magnetici a ferro da cavallo: tra i poli oscillava un'ancora elettro-magnetica con una ruota dentata e una manovella: nell'attacco e distacco ottennero la scintilla.

Macchina di Pixii. Pixii sostituì al moto alternativo il rotatorio, facendo girare una calamita avanti all'elettro-magnete.

Macchine ad elettro-calamita girante. Finalmente Saxton, Newman e Clarke rendettero più perfetta la macchina magneto-elettrica, facendo rotare l' elettro-magnete innanzi ai poli della calamita permanente. A noi basterà descrivere quella di Clarke (fig. 161).

Essa componesi di due parti essenziali. La prima è un vigoroso fascio magnetico A piegato a ferro da cavallo, e fissato verticalmente a un sostegno e a una base di legno. La seconda è la così detta *armatura* BB' girevole col suo asse innanzi ai poli della calamita A mediante due ruote, una di maggiore diametro con la manovella, l'altra di minore, abbracciate entrambe da una catena alla Vaucanson B. L' armatura è formata di due elettro-calamite equivalenti ad uua sola in quanto che una spirale è *a destra*, l'altra *a sinistra.* I due cilindri interni di ferro dolce sono conginnti con la traversa V. Un capo de' due fili è in contatto coll' interno dell'asse, l'altro capo con un anello metallico, che ne covre la superficie esterna: l'interno è separato dall' esterno con uno strato isolante, per esempio con cilindro di avorio. È necessario dunque che l'esterno dell'asse comunichi con l' interno perchè il circuito sia chiuso e percorso dalle correnti indotte.

Per intendere come qneste si generino e in quale direzione, si consideri prima una sola elettro-magnete B. Scostandosi essa dal polo nord della calamita A, e poi avvicinandosi al polo sud, nel suo fi[illegible] si generano due correnti dirette ngnalmente, cioè come le correnti che circolano nel polo nord. Similmente scostandosi quella dal polo sud, e poi avvicinandosi al polo nord, si avranno altre due correnti ma opposte alle prime, dirette cioè come le correnti del polo sud. Laonde in una intera rotazione si ànno quattro correnti, ma due in nn senso, due nell'opposto. Dicasi altrettanto della secon-

Fig. 162.

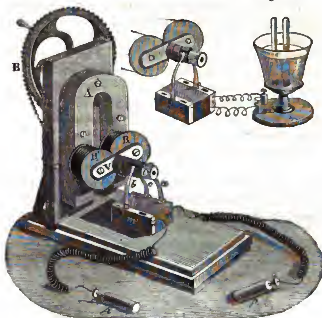


Fig. 161.

da elettro-calamita B'. Ove poi si rifletta che non solo le due elettro-calamite ànno le loro spire avvolte inversamente, ma le loro posizioni van sempre riferite a'poli opposti del fascio magnetico A, s'inferirà che per un rivolgimento intero dell'asse nell'armatura BB' si generano otto correnti: delle quali quattro per un verso nella prima mezza rotazione, e quattro pel verso opposto nella seconda. Le correnti indotte ànno intensità massima allorchè i poli della elettro-calamita sono nel piano verticale.

In certe esperienze fa d'uopo che la corrente vada sempre per un verso: a tal fine si fissa sull'asse un appendice detto *commutatore* diversamente costruito secondo che vuolsi o trascurare una metà delle correnti, o invertirne la direzione.

Effetti delle correnti magneto-elettriche. Il circuito tra l'interno dell'asse e l'esterno si chiude con diversi arnesi secondo l'effetto da produrre. Serve a tal uso il zoccolo di legno *mn*, le cui facce laterali sono metalliche, e le mollette *a*, *b*, *c*.

Se vuolsi la *scintilla*, si fissa sull'estremo dell'asse il così detto *eccentrico*, con una scanalatura longitudinale su cui poggia la molletta *a* in modo, che la interruzione accada quando le correnti sono più valide; la molletta *b* tocca l'anello, e le due piastre metalliche *m*, *n*, comunicano per mezzo d'un ponticello metallico.

Lasciando tutto com'è detto, se alle piastrine *m*, *n* si fissano due spirali terminate coi manubrii *p*, *p*, impugnando questi si avrà al girar della ruota una *scossa*, e più forte se con le mani bagnate.

Per la *elettrolisi*, ad esempio dell'acqua, si fan comunicare le piastrine *m*, *n* con le viti di pressione del voltametro (fig. 162). Per raccorre i gas separati, s'impiega il commutatore.

Queste correnti indotte produrranno anche la *calamitazione*, se i due capi del filo d'una elettro-magnete si fisseranno in *m*, *n*. Nella quale sarà costante la posizione de' poli usando il commutatore, s'invertirà ad ogni mezza rotazione omettendolo. Sperimentando nel secondo modo si ode una serie di colpi dovuti all'attacco e di-

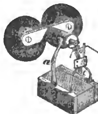


Fig. 163.

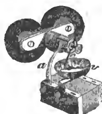


Fig. 164.

stacco dell'ancora, per non essere istantaneo il suo calamitarsi e scalamitarsi come la inversione della corrente.

Si *arroventa* un filo di platino *o* (fig. 163) tendendolo fra le piastrine *m*, *n*, e impiegando il commutatore nell'asse.

Per *infiammare* l'etere contenuto nella vaschetta metallica *v* (fig. 164), tocchi questa con la molletta *a* l'esterno dell'asse, men-

tre in testa dell'asse stesso sono fissate ad angolo retto delle punte c che pescano nel liquido: al distacco scocca una scintilla e la accende.

Nell'istesso modo versando mercurio nella vaschetta si ottiene una scintilla bianca brillante.

124. Magnetismo di rotazione. Si dà questo nome ad una serie di fatti scoverti da Arago nel 1820 che sono una conseguenza della induzione prodotta dalle calamite.

Egli si avvide che un ago di declinazione allontanato dalla posizione di equilibrio vi ritorna compiendo nell'istesso tempo un numero minore di oscillazioni e meno ampie quando le è vicina una lamina metallica, che comunque altrimenti. Poichè dunque la lamina agisce sull'ago in moto, non quando è in riposo, Arago imaginò vi dovesse esistere anche una influenza allorchè l'ago è in riposo e il metallo si muove. Quale effetto ne derivi il manifesta l'ordigno della fig. 165.



Fig. 165.

Due ruote A, B, la prima di diametro assai maggiore che la seconda, sono girevoli intorno due assi verticali: le abbraccia una corda senza fine, con che movendo quella a mano per mezzo di una manovella; gira questa velocemente, e con essa un disco di rame M. Sul disco v'è l'ago calamitato ab, il cui centro di sospensione, o la punta su cui è bilicato, si trovi nell' asse di rotazione che passa pel centro del disco: è però indipendente dal disco stesso, e dippiù con campana è difeso dall'agitazione dell'aria.

Or girando il disco, l'ago è deviato dalla sua posizione, e più o

meno secondo la velocità di quello: ma quando la deviazione à raggiunto i 90°, l'ago vien trasportato nel medesimo senso del disco rotante; e se girasi il disco nel verso opposto, il rivolgimento dell'ago prima si rallenta, e poi si cangia nella direzione contraria.

Secondo Herschel e Babbage sull'ago non ànno azione il legno, il vetro, l'acqua e simili; quella poi de' varii metalli è espressa, come segue; nel rame è massima :

rame	1,00	piombo	0,25
zinco	0,95	antimonio	0,09
stagno	0,46	bismuto	0,02

Spiegazione del fenomeno. È agevole vedere la relazione tra questi fenomeni e quelli della induzione magnetica. Una lamina o in generale una massa metallica equivale a un circuito chiuso; e perciò concepisce una corrente d'induzione al cangiarsi della distanza che la divide dal polo d'una calamita: la corrente è nel medesimo senso di quelle che sono nel polo se questo si allontana, nel senso contrario se il polo si avvicina. Laonde se l'ago è in riposo e 'l disco gira, un'attrazione ed una ripulsione su ciascun polo trarranno l'ago nella direzione del moto. Se il disco è immobile, e l'ago oscilla, un'attrazione pure ed una ripulsione su ciascun polo opponendosi alle sue oscillazioni il faranno arrestare più presto.

Questa spiegazione è confermata dal vedere, che la influenza del disco sull'ago s'indebolisce assai se nel disco si praticano delle interruzioni di continuità nel senso de' raggi; e ritorna poi come prima, se i vani riempionsi con polvere o limatura ben compressa dell'istesso o di altro metallo.

Ma la dimostrazione più convincente si à per mezzo del galvanometro, i cui fili si mettono in contatto successivamente con due diversi punti del disco: si conosce in tal modo l'esistenza e la direzione delle correnti indotte dall'ago.

Arago era giunto a dimostrare che la forza del disco rotante sull'ago è risultante di tre componenti; delle quali la prima è nel piano del disco perpendicolare a' suoi raggi, ed è quella che ne cagiona la deviazione e la rotazione; la seconda è perpendicolare al piano del disco; la terza agisce nel senso stesso dei raggi.

125. **Induzione tellurica.** Poichè la terra opera in tutto come una grande calamita, era facile prevedere che dovesse completarsi l'analogia con la produzione delle correnti indotte.

Anche questa scoverta è dovuta al genio di Faraday. Egli avvolse

attorno a un cilindro di ferro dolce un filo di rame vestito di seta, i cui capi finivano al galvanometro: e si accorse che quante volte il cilindro prendeva la posizione dell'ago d'inclinazione s'ingenerava nel filo una corrente inversa, e una corrente diretta nell'allontanarsene: e dopo ciascuna deviazione l'ago tornava immantinenti a zero. Queste correnti però mediatamente eran dovute all'azione inducente della terra, ed immediatamente venivan prodotte dal magnetismo di posizione che prende o perde la canna di ferro.

Nobili e Antinori esclusero il ferro, ed ebbero le correnti indotte immediatamente dall'azione terrestre. Essi avvolsero il filo di rame intorno a un tubo di cartone o di legno operando in tutto come Faraday, e ne ottennero i medesimi risultamenti. Si studiarono poi di accrescere la intensità per avere dalle correnti telluriche gli altri effetti oltre la deviazione galvanometrica, come aveangli ottenuti dalle induzioni magneto-elettriche. Variarono in mille modi lunghezza e grossezza del filo, numero e diametro delle spire sino a comporre una spirale cilindrica MN (fig. 166) di metri 3.

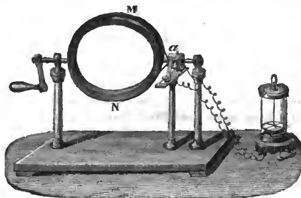


Fig. 166.

Non riuscirono, e ciò per non essere conosciute a quei dì le così dette *leggi di Ohm*, che presto esporremo.

Altri fisici in seguito si occuparono di questi studi; fra cui Botto e Antinori ottennero la scomposizione dell'acqua. Ma il problema non fu risoluto pienamente che per opera de' professori Palmieri e Linari, i quali con la *batteria telluro-elettrica*, cioè con un sistema di canne armate come l'elemento di Faraday, ottennero dalla induzione terrestre tutti gli effetti delle correnti, scossa, arroven-

tamento, calamitazione, scintilla. Poi il prof. Palmieri eliminò interamente il ferro dalla sua *spirale ellittica*, come avean praticato Nobili e Antinori; e ne ottenne ugualmente tutti gli effetti di sopra citati.

Nel gabinetto della R. Università si trova una enorme di tali spirali, diretta dal mio predecessore prof. Giardini, la cui azione è veramente maravigliosa.

126. Induzione mista. Nella duplice spirale dell'apparecchio d'induzione elettro-dinamica (fig. 160) introducasi un cilindro di ferro dolce; questo resterà calamitato dalla corrente inducente, e quando essa s'interrompe cagionerà una corrente d'induzione magneto-elettrica, che va nell'istesso senso di quella della induzione elettro-dinamica e la rinforza: è risultante dunque da una induzione *mista* della corrente e della calamita. Con diversi ordigni si attua questo ingegnoso trovato, e se ne trae profitto.

Condensatore di de la Rive. Poniamo che la corrente inducente della duplice spirale passi per una molletta d'acciaio, che in un punto di sua lunghezza immediatamente al di sotto del cilindro di ferro dolce abbia annesso un pezzetto pure di ferro dolce, e vada poi in una vaschetta con mercurio, nel quale è anche immerso il filo che chiude il circuito. Or in passare la corrente voltaica pel filo inducente il pezzetto di ferro dolce della molletta viene attratto dal cilindro che si calamita: ed essa sollevandosi dal mercurio interrompe il circuito; ricade dunque novellamente, e 'l circuito si chiude come prima. Cotali alternative si seguono con rapidità, e la corrente del filo inducente si rafforza per la estracorrente aggiunta, e nell'altro filo la corrente è dovuta ad induzione mista.

Tal condensatore può anche servire per interrompere il circuito d'una spirale semplice, affine di accrescere la intensità della corrente voltaica.

Nella *ruota di Masson o di Callan* la presenza del cilindro di ferro dolce ne rende insofferibili le scosse. Un fascio di fili di ferro dolce isolati tra loro è anche più attivo d'un cilindro di pari massa per la influenza che esercitano i fili uno sull'altro.

Rocchello di Ruhmkorff. Sugli stessi principii è fondato il rocchello di Ruhmkorff; ma v'è dippiù che l'ingegnoso meccanico à messo ogni cura per ottenere il più perfetto isolamento non solo vestendo di seta le spire, ma covrendole d'uno strato di vernice a gommalacca, per che la corrente à tensione validissima a segno

da riunire insieme i caratteri della elettricità statica e dinamica.

Il grande *rocchello* B (fig. 167) è disposto verticalmente sopra un piano di cristallo sostenuto da quattro colonnette: nel suo asse v' è un cilindro di ferro dolce; il filo inducente è del diametro di due millimetri, compie circa 300 rivolgimenti, e va a terminare alle due colonnette *v* e *i*; il filo indotto del diametro di un sesto

Fig. 168.

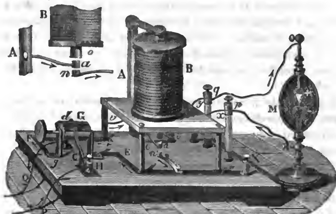


Fig. 167.

di millimetro, e della lunghezza di dieci chilometri, si avvolge sul primo compiendo circa dieci mila spire, e finisce nelle due viti di pressione isolate *x*, *y*. Ecco ora il camino della corrente. Unito l'elettrodo positivo P alla vite di pressione H, la corrente per la molletta C va nel *commutatore* G, d' onde per la striscia di rame *g*F e per la colonnetta *v* entra nel filo inducente : ne esce in *e* : quindi per la striscia *c* viene nella base della colonna di ferro A, e pel martellino *a* che tocca il conduttore *n* e per la striscia di rame E va all'altra vite di pressione *d*; e finalmente per l'elettrodo negativo Q alla pila.

Avviene però che pel passaggio della corrente il cilindro di ferro dolce *o* (fig. 168) si calamita, e attraendo il martellino *a* il circuito s'interrompe: si smagnetizza allora il cilindro, e'l martellino ricade per essere attratto novellamente. Per queste alternative nel filo sottile si generano le correnti indotte, ad ottenere le quali e per averne gli effetti conviene chiudere il circuito della spirale indotta coi fili *p*, *q*.

Le commozioni che si ànno col rocchello di Ruhmkorf sono oltremodo energiche e pericolose. Le azioni chimiche svariate secondo le condizioni dell'esperimento. Negli effetti calorifici si nota essere più intenso il calore al polo negativo che al positivo.

Sovrattutto i fenomeni luminosi sono singolari. Sperimentando coll'uovo elettrico M (fig. 167), l'effetto nel vuoto è pari a quello che si ottiene con potente macchina elettrica. Ma se pria d'estrarre l'aria dall'uovo vi si versa qualche goccia d'un liquido assai volatile, per esempio di alcole, di solfuro di carbonio, o d'essenza di trementina, o anche se vi s' introduce un aeriforme, la luce apparisce *stratificata*, a zone alternanti luminose e oscure e di vario colore, secondo la natura del vapore o del gas che si è introdotto nel globo.

Ultimamente il valente meccanico à costruito un ordigno di forza incomparabilmente maggiore. Basti dire che le scintille seguentisi con immensa rapidità raggiungono la lunghezza di 35 centimetri, e la scarica trafora un vetro di un decimetro.

127. **Leggi delle correnti d' induzione.** I molti studi fatti dai fisici sulle correnti d'induzione ci àn rivelato le leggi, cui esse ubbidiscono. Per le correnti d'*induzione voltaica*:

1.° *La intensità della corrente indotta è proporzionale a quella della corrente inducente.*

2.° *È nella ragione inversa della semplice distanza.*

3.° *È proporzionale alla sezione del filo, e in ragione inversa della lunghezza ridotta del circuito indotto.* Ciò è in accordo con quel che diremo sulle leggi delle correnti voltaiche.

4.° *È indipendente dalla natura del corpo isolante, che si frappone tra i due circuiti inducente e indotto , e diminuisce assai di forza se si frappone un corpo conduttore.*

Per le correnti d'*induzione magneto-elettrica* le leggi sono le medesime, in relazione con la intensità delle correnti che circolano nella calamita.

Finalmente in quanto alle correnti d'*induzione tellurica*, ne cresce la quantità con la grossezza del filo, la tensione con la lunghezza, la quantità infine e la tensione col diametro dell'elica.

PROPAGAZIONE E MISURA DELLE CORRENTI.

128. **Propagazione della corrente.** La maniera con la quale l' elettricità in corrente percorre un circuito qualunque, differisce dalla propagazione della elettricità statica. Imperocchè

1.° *La corrente non va alla superficie de' conduttori, ma invade la massa del circuito.* Infatti è la stessa l'azione sopra un ago calamitato così d'un solo filo, come d'un fascio di fili, la sezione dei quali insieme pareggi quella del filo solo, sebbene le superficie sieno tanto differenti. Dimostrazione più convincente si trae dalle *correnti derivate* a questo modo : si covrono di vernice isolante due fili di platino annessi al galvanometro fuorchè ai loro estremi, e s'immergano a diversa profondità in un canale liquido percorso dalla corrente: si vedrà l'ago deviare per la porzione di corrente, che dal liquido penetra nel filo galvanometrico, e dicesi *corrente derivata* o *assorbita*: ne vedremo presto le leggi.

2.° *La intensità della corrente è la stessa in qualunque punto del circuito.* Si argomenta la *intensità* della corrente dai suoi effetti, e più comunemente dall'azione sull'ago calamitato. Or, sia omogeneo il circuito o eterogeneo, in qualunque punto l' ago è ugualmente deviato, essendo pari le altre circostanze.

129. **Velocità della corrente.** Non sono d'accordo le esperienze intorno alla velocità della corrente. Nel 1840 Walker in America dal ritardo de'segnali ne'telegrafi elettrici dedusse che la velocità della corrente è di 30000 chilometri al secondo ; che sarebbe 15 volte minore del trovato di Wheatstone (71).

Fizeau e Gounelle nel 1850 sperimentando pure su i fili delle linee telegrafiche ànno ottenuto per un filo di ferro di 4 millimetri e mezzo di diametro 101700 chilom. al secondo, e 177700 chilom. per un filo di rame del diametro di due millim. e mezzo. Àn trovato inoltre essere varia la velocità ne'conduttori di natura diversa, ma non proporzionale alla conducibilità; e dippiù essere indipendente dalla natura della pila e dal numero degli elementi, e perciò dalla forza e dalla tensione della corrente.

Questo risultamento è medio e più prossimo al vero; poichè le ricerche istituite tra Greenwich e Edimburgo àn dato 12200 chilometri al secondo.

Assai minore è la velocità trovata tra Greenwich e Brusselle ,

cioè 4300 chilometri; ma ciò è dovuto al filo sotto-marino, il quale, come osserva Faraday, esercita influenza attraverso la guttaperca sull'acqua circostante,ed oppone una resistenza equivalente a lunghezza molto maggiore di circuito.

130. **Leggi di Ohm**. Molti fisici si sono occupati di definire le circostanze da cui dipende la intensità della corrente, sovrattutto Ohm, il quale ne à dato le leggi in funzione delle forze elettromotrici, e della resistenza. Ohm chiama *forza elettro-motrice* qualunque cagione atta a generare corrente, e *resistenza* ogni impedimento, che la corrente incontra in propagarsi.

Le leggi sono le seguenti:

1.ª *La intensità di una corrente è nella ragione direttadelle forze elettro-motrici e nella inversa delle resistenze.*

2.ª *La resistenza de'fili metallici è nella ragione diretta di loro lunghezza, e nella inversa della sezione* (*).

Pouillet à dimostrato che questa legge à luogo anche pe'circuiti liquidi, purchè la loro lunghezza ecceda cinque o sei volte almeno la larghezza. D'onde si deduce che in generale la conducibilità di un circuito è nella ragione inversa della lunghezza.

131 **Bussola de'seni e delle tangenti**. Per misurare la intensità delle correnti mediante il galvanometro è necessaria una scala di graduazione: vi sono però degli strumenti che la danno direttamente; sono essi le bussole de'seni e delle tangenti.

La *bussola de'seni* consiste in due cerchi di rame M,N (fig.169), l'uno verticale, l'altro orizzontale, congiunti tra loro, sostenuti dal piede O e mobili intorno l'asse verticale: la rotazione si misura mediante l'alinda C munita di nonio, che scorre lungo il cerchio azimutale H e si fissa con la vite di pressione A. Attorno al cerchio verticale M di 30 a 40 centimetri di diametro si avvolge con uno o pochi giri il filo di rame vestito di seta: i suoi capi finiscono in due viti di pressione E, a cui fan capo gli elettrodi *a*,*b*. Col centro comune de'due cerchi corrisponde il centro di sospensione dell'ago calamitato *m*, al quale è unito ad angolo retto un filo

(*) Dinotino F la intensità della corrente, E le forze elettromotrici, R la resistenza, *k* il coefficiente di conducibilità, L e S la lunghezza e la sezione del circuito; le leggi di Ohm possono essere così formolate:

$$F=\frac{E}{R},\ R=k\frac{L}{S}$$

esilissimo di legno o di rame *n*, che serve da indice relativamente al cerchio graduato N.

Per valersene si dispone in prima il cerchio verticale M nel meridiano magnetico, nel quale sarà anche l'ago *m*; poi si fa passar la corrente, che produrrà una certa deviazione nell'ago. Si volge allora il sistema, finchè il cerchio M venga nell'azimut dell'ago: e si legge la rotazione nel cerchio H. Questa misurerà l'angolo di deviazione prodotta dalla corrente, la cui intensità è proporzionale al seno di quest'angolo. Infatti la forza della corrente, che fa deviare l'ago, è perpendicolare al suo asse: laonde decomponendo in due l'azione direttrice della terra, l'una secondo il prolungamento dell'ago, l'altra perpendicolare ad esso, questa seconda componente pareggerà la intensità della corrente nella posizione di equilibrio, e risulta perciò eguale alla forza direttrice della terra moltiplicata pel seno della deviazione.

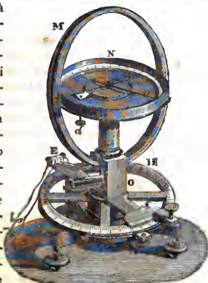


Fig. 169.

La *bussola delle tangenti* non differisce da quella de'seni, fuorchè nell'essere il cerchio M una lastra di rame larga 20 millimetri, per la quale passa la corrente: l'ago à assai corto, per che la forza della corrente è proporzionale alla tangente della deviazione.

132. Resistenza ridotta. La resistenza totale d'un circuito è non solamente quella del filo interpolare, ma pure l'altra che viene opposta nella pila stessa dalle lamine solide e dagli strati liquidi. Or Pouillet à dato nome di *resistenza ridotta* ad un filo metallico di tale lunghezza, da pareggiare la resistenza totale. Per *ridurre* a questo modo la corrente della pila, si faccia passare per un filo metallico la corrente d'un elemento di pila a forza costante, ad esempio di una pila alla Daniell, e se ne determini la intensità con la bussola de'seni: poi si faccia passare per un filo di lun-

ghezza doppia, e si vede che la intensità non diviene metà della precedente, poichè veramente non si è raddoppiata tutta la resistenza: conviene aggiungere per ciò altro filo. Quando la bussola indica che la forza della corrente è ridotta alla metà, il nuovo filo aggiunto misurerà la resistenza della pila. Similmente si triplichi il filo: non per questo la intensità della corrente si è ridotta al terzo: la metà del filo che bisogna aggiungere dippiù rappresenterà la resistenza ridotta. Protraendo queste esperienze, e prendendo la media, si avrà un risultamento sempre più esatto.

Non fa bisogno d' altro per intendere come si determini la resistenza ridotta della medesima bussola o del galvanometro.

Reostato. Per eseguire queste e somiglianti ricerche vale mirabilmente il reostato di Wheatstone. Esso componesi di due cilindri A, B (fig. 170), paralleli e girevoli insieme intorno a' loro assi: il primo è di ottone, il secondo di legno, ma in tutta la sua lunghezza è solcato da una scanalatura ad elica a spire molto fitte, e finisce con un anello di rame *a*. Da quest' anello parte un filo di rame lungo 40 metri, il quale, dopo essersi avvolto in queste sul cilindro B seguendo l' elica, passa ad avvolgersi sul cilindro A e termina in *e*.

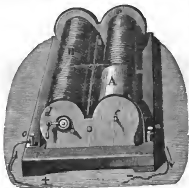


Fig. 70.

Alle basi posteriori de'due cilindri v' à due cerchi graduati e due indici, che segnano in metri e in centimetri la lunghezza del filo avvolto sul cilindro di legno. Da ultimo le viti di pressione *o*, *n*, comunicano per mezzo di mollette di rame l'una con l'anello *a*, l'altra con la base del cilindro A.

Or egli è chiaro che fissando l' elettrodo positivo in *o*, il negativo in *n*, la corrente percorrerà solamente la lunghezza del filo avvolto sul cilindro B, e quando passa sul secondo in *m* verrà direttamente alla vite *n*. Laonde volendo che la corrente percorra maggiore lunghezza di filo basterà girare i due cilindri a sinistra mediante la manovella *d*, con che si viene ad aumentare il filo sul cilindro B: si otterrà l'opposto se collocata la manovella in *c* si volge a dritta. Nel primo modo si viene a diminuire la intensità della corrente, nel secondo si accresce.

Talvolta bisogna misuraro resistenze così grandi, che il filo del reostato non produce differenza apprezzabile nella intensità della corrente: conviene allora aggiungere delle lunghezze molto maggiori di filo, che Whoatstone chiamò *cilindri di resistenza*.

133. Conseguenze delle leggi di Ohm. Dalle leggi di Ohm e dalle ricerche istituite mediante il reostato si deducono molte conseguenze importanti. Indichiamo le principali.

1.° *Conducibilità de'circuiti.* È agevole trovare la relazione di conducibilità tra più fili di natura diversa. Fatta passare per essi una corrente costante, se ànno la medesima sezione le loro conducibilità staranno come le lunghezze richieste affinchè la corrente serbi la stessa intensità: ecco i risultamenti avuti da Pouillet

Mercurio	100
Ferro	da 600 a 700
Acciaio	500 a 800
Ottone	200 a 900
Platino	850
Rame	3800
Oro puro	4000
Argento puro.	5200
Palladio	5800.

I liquidi conducono immensamente meno de'metalli, ad esempio una soluzione satura di solfato di rame 16 milioni di volte men bene del rame. V'à de'corpi che non conducono solidi, sibbene liquidi, perchè così sono decomposti dalla corrente. La conducibilità dell'acqua pura è debolissima; si accresce coi corpi che vi si solvono. La conducibilità dei metalli diminuisce con l'aumento di temperatura, quella de'liquidi cresce.

2.° *Quantità e tensione delle correnti.* La *quantità* di elettrico in una corrente è la stessa cosa che la sua intensità. Infatti Pouillet vide ridursi a metà la deviazione nella bussola, allorchè per mezzo d'una ruota con denti alternamente di metallo e di avorio fè passare nel circuito una data corrente per la metà del tempo. La *tensione* poi è l'attitudine a vincere le resistenze.

Or la intensità della corrente d'un elemento di pila è la medesima che quella d'un numero qualunque dell'istessa natura e dimensioni; poichè tutte cagionano la stessa deviazione nella bussola. Nè può essere altrimenti, giacchè col numero delle coppie crescono del pari le forze elettromotrici e le resistenze. Ma non

è così della tensione, la quale si aumenta col numero delle coppie. Infatti crescendo col numero delle coppie la resistenza nello interno della pila, i due stati elettrici opposti tendono maggiormente all'equilibrio pel circuito interpolare. Inoltre per una data resistenza aggiunta la resistenza totale cresce tanto meno quanto è maggiore la resistenza nell' interno della pila, e conseguentemente diminuisce meno la forza della corrente (*).

Si chiamano *correnti di tensione* quelle, di cui la tensione è considerevole; le altre, di cui la tensione è debole, diconsi *correnti di quantità*. Laonde è necessaria una corrente di tensione a produrre quegli effetti, in cui la corrente deve traversare corpi isolanti o cattivi conduttori, come sarebbero la luce elettrica, le analisi, le scosse e simili, i quali per questa ragione son detti *effetti di tensione*: e una corrente di quantità se deve traversare de' corpi buoni conduttori, come nell'arroventamento de'fili metallici, nell'elettro-calamite e somiglianti, che si chiamano *effetti di quantità*.

Di qui si comprende la necessità delle due armature nelle macchine magneto-elettriche, e la influenza delle dimensioni del filo nelle elettro-calamite e in somiglianti circuiti. Speciale attenzione merita quest'argomento relativamente al galvanometro: imperocchè da una parte l'azione della corrente sull'ago è proporzionale al numero degli avvolgimenti del filo, dall'altra con la lunghezza del filo cresce la resistenza, e diminuisce la intensità della corrente. Laonde se fosse tanto debole la resistenza ridotta della pila da potersi trascurare, col numero de'giri crescerebbe nella stessa ragione la resistenza, ed un solo giro produrrebbe l'istesso effetto che molti. Ma all'infuori di quel caso, sovrattutto quando la resistenza della pila è considerevole, la resistenza del filo cresce in ragione men rapida dell' azione multipla de' rivolgimenti. Perciò s' impiegano due categorie di galvanometri, che diconsi anch'essi *di quantità* o *di tensione*.

3.° *Paragone tra le pile*. Volendo paragonare fra loro le forze de'diversi elementi voltiani, esse saranno nella medesima ragione

(*) Essendo $\frac{E}{R}$ la forza della corrente d'un elemento solo, sarà $\frac{nE}{nR}$ quella d' un numero n di elementi. Se aggiungasi ad entrambe una resistenza esterna r, quelle forze diventeranno $\frac{E}{R+r}$, $\frac{nE}{nR+r}$; d' onde si fa chiaro, che la prima s'indebolisce assai più della seconda.

che le lunghezze de'circuiti richieste affinchè producano nel galvanometro la stessa deviazione; vale il medesimo se voglionsi determinar le forze elettro-motrici, che si sviluppano armando la stessa pila con differenti liquidi. In quest'ultima ricerca si trova, che il massimo effetto si ottiene impiegando per liquido la soluzione d'un sale, che abbia per radicale l'elemento stesso negativo della coppia. Di qui l'uso del solfato di rame allorchè il rame è l'elemento negativo. Da ultimo l'effetto massimo vien prodotto da una pila quando la sua resistenza uguaglia quella dell'arco interpolare.

4.° *Correnti derivate* o *assorbite*. Se due punti d' un circuito qualunque, pel quale passa una corrente, si toccano con due laminette di platino congiunte ai fili del galvanometro, l' ago devierà perchè una porzione di quella penetra nel circuito del galvanometro; dicesi corrente *derivata* o *assorbita*. Le leggi di questa sono una conseguenza delle leggi di Ohm; imperocchè la intensità della corrente derivata è in ragione diretta della resistenza opposta dal circuito principale, e nella inversa di quella del circuito assorbente. Così immergendo le due laminette di platino in un canale liquido, pel quale passa una corrente, per esempio voltaica, la corrente derivata sarà più valida se da un lato è più stretto il canale, men conduttore il liquido, e più discoste le lamine; e dall' altro più grosso il filo del galvanometro e più corto.

SORGENTI DI ELETTRICITÀ DINAMICA.

134. Cagioni delle correnti idro-elettriche. Il contatto ugualmente che l'azione chimica son capaci di svolgere elettrico (76, 77); quale de'due agenti sviluppa corrente nella pila? Dippiù nella pila l'azione chimica è cagione dello svolgimento di elettricità, o per l'opposto gli stati elettrici contrarii determinano l'azione chimica? Fin da'tempi delle grandi scoverte di Volta un tale argomento fu soggetto di controversia come si disse: ne'primi 30 anni di questo secolo prevalse quasi esclusivamente la teoria di Volta; e poi è stata novellamente suscitata la quistione, specialmente da Becquerel, De la Rive e Pouillet partegiani delle reazioni chimiche, e da Berzelius, Ampère e Marianini difensori della teoria del contatto.

In quanto a me io affermo con franchezza che non so vedere altro modo di spiegare l'origine della corrente nella pila, fuorchè

nel contatto di Volta, sovrattutto vagheggiando la teoria elettrochimica delle affinità, e volendo evitare le implicanze di cagioni e di effetti. Ammetto dunque che gli stati elettrici opposti degli elementi della pila negativo e positivo nascono dal solo scambievole loro contatto, del rame cioè con lo zinco, del rame coll'amalgama di zinco, del platino o del carbone con lo zinco, e dell' idrogeno con l'ossigeno nella pila a gas. Alle esperienze riferite altre mille se facesse d'uopo, potremmo aggiugnerne.

Ma se queste tensioni opposte de' poli fossero permanenti , lo svolgimento dell' elettrico si arresterebbe. Immergiamo ora gli elettrodi in acqua ; le loro polarità la scompongono attraendone gli elementi dotati di elettricità contrarie ; adunque la elettricità già svolta ai poli nel contatto è cagione dell' azione chimica. Le molecole d' idrogeno e d' ossigeno a stato nascente, le prime con elettricità positiva, le seconde con elettricità negativa, neutralizzano gli stati elettrici opposti de' poli , o formando intorno a se un' atmosfera di elettricità contraria, secondo che felicemente imaginò Ampère , o senza ciò combinandosi alle stesse elettricità contrarie. Gli elementi dunque, che nascono per elettrolisi, scaricano perennemente i poli; con che proseguendo ad agire la forza elettro-motrice , si continua del pari lo svolgimento di elettrico. Questa è la vera funzione dell'azione chimica nella pila. La sorgente dell' elettrico è indefinita nel contatto , ma la corrente , e quindi la sua intensità, rispondono con giusta proporzione al neutralizzamento che se ne opera, ossia all'azione chimica.

Questa teoria non è nuova, ma è la sola maniera di mettere in accordo tutt'i fatti, che non possiamo sconoscere per renderci partegiani di un sistema. Purtuttavolta , non vogliamo omettere di aggiungerne altre prove, e di accennare altresì come dare spiegazione di alquante esperienze, che sembrano contrarie.

1. Che l'azione chimica non si accompagni di necessità al contatto venne dimostrato da Pfaff , il quale caricò il condensatore nel vuoto; ed inoltre rese evidente che il grado di carica non corrisponde alla umidità del gas, nel quale si sperimenta. Becquerel riuscì pure ad elettrizzare per contatto de'minerali, de'quali non può sospettarsi ossidazione durante l'esperienza dopo essere stati esposti per secoli all'aria libera.

2. Una coppia platino e oro non isvolge corrente se immergesi nell'acido azotico puro; ma se aggiungasi a questo qualche goccia

di acido cloridrico si à forte corrente dall' oro attaccato dall' acqua regia nel liquido. Alla quale obbiezione rispondesi che è pari in quei metalli la forza elettromotrice dovuta al contatto, e che si ottiene poi corrente pel contatto stesso dell'acqua regia, o perchè gli elementi si cangiano essendo ineguale l'azione del liquido.

3. Similmente si solve la difficoltà, che emerge dal vedere spesso cangiata la direzione della corrente mutando solo il liquido della coppia: così la corrente va dal ferro al rame se il liquido è acido, e dal rame al ferro se è una soluzione di solfidrato di soda o di potassa. Imperocchè anche quì la corrente inversa è dovuta alla forza elettromotrice tra solido e liquido; ed inoltre gli stessi solidi si rendono diversi nell'essere diversamente attaccati dal liquido.

4. Che poi un liquido sebbene semplice conduttore abbia pure influenza sulla tensione polare, è una conseguenza necessaria non solo della teoria di Ohm, ma ben anche della parte che esercitano gli elementi, in cui esso si risolve nel neutralizzare le elettricità opposte sviluppate ai poli.

135. **Correnti termo-elettriche.** Il calore è sorgente non solo di elettricità statica (75), ma altresì di dinamica. Veramente Volta avea scoverto che la differenza di temperatura in una coppia omogenea bastava a sviluppare corrente, ma il professore Seebeck a Berlino mise il fatto in evidenza nel 1821.

La seguente esperienza dimostra il fenomeno e la sua cagione. A'capi d'un galvanometro di quantità congiungasi un lungo filo di

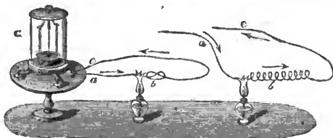


Fig. 171. Fig. 172.

platino *abc* (fig. 171), ad un punto del quale siasi fatto un nodo *b*, o una parte sia conformata a spirale (fig. 172); riscaldando il filo con lampada a spirito dappresso a quel sito, la deviazione galvanometrica indicherà una corrente diretta nel filo dalla parte riscaldata al nodo o alla spirale, e quindi pel galvanometro dal nodo

o dalla spirale alla parte calda. Becquerel, a cui è dovuta questa esperienza, riscaldando il filo senza avvolgerlo à veduto l'ago rimanere immobile. Basta però ad avere corrente una massa maggiore da un lato, o anche una eterogeneità superficiale, per esempio se il filo è di rame e netto in tutta la sua lunghezza presenti poi da una parte traccia di ossido, o finalmente altresì una varietà di tempra se il filo è di ferro o di acciaio. Tali differenze contribuiscono alla ineguale propagazione del calore: si à dunque una corrente, che va nel filo dalla parte calda a quella che lo è meno.

Magnus recentemente si è accorto che l' ineguale diametro o comunque una differenza di massà o anche dello stato superficiale non ànno influenza: e che nell'esperienza di Becquerel manca la corrente se le spire non si toccano. Laonde ei non riconosce la cagione della termo-elettricità nella ineguale propagazione del calore, ma nelle modificazioni che questo produce.

Sperimentiamo altrimenti; congiungansi al galvanometro due fili di platino, poi si scaldi l' estremo d' un solo e si porti a contatto con l' altro: tosto si à una corrente dall' estremo riscaldato all'altro. Impiegando diversi metalli, due fili di piombo, due cilindretti di antimonio e simili, si à sempre una corrente, che va per essi dalla parte calda alla fredda. Se adoperansi invece due cilindri di bismuto, la corrente prende direzione opposta.

Punti neutri. Anche senza il galvanometro si scovre l'esistenza delle correnti termo-elettriche. Se fondonsi delle masse di bismuto o di antimonio, e si conformano a modo di telaio, di circolo, di cilindro o comunque altrimenti, e mentre si scaldano in un punto qualunque, si avvicina un ago, il cui asse sia parallelo o tangente al lato o all'arco che si riscalda, la deviazione dell'ago rivelerà la corrente. Vi sono però de' punti detti *neutri* da Sturgeon perchè scaldati non generano corrente. V'è sempre un punto neutro colà dove il metallo fuso è colato nello stampo, ed in generale dove la cristallizzazione è diversa dal resto della massa. Così può prodursi dove che sia un punto neutro col raffreddamento accelerato, mentre la massa si sta consolidando.

136. **Coppie termo-elettriche.** Seebeck unendo due verghe di metalli diversi a circuito chiuso compose una *coppia termo-elettrica*, nella quale se scaldasi un solo de'punti, in cui i metalli sono a contatto, si svolge corrente. Sopra una lamina di bismuto si saldi una lamina di rame piegata a tre lati d'un rettango-

lo:fra le due lamine è un ago calamitato bilicato sopra una punta: se la sezione verticale del sistema si dispone nel meridiano magnetico, e si scalda una saldatura mentre l'altra si serba costante, l' ago deviando indicherà una corrente, che va nella parte calda dal bismuto al rame; la corrente sarebbe opposta raffreddando una saldatura e manteneudo costante l'altra. Il bismuto si dice *positivo* rispetto al rame, e questo *negativo.*

Cangiando i metalli della coppia la direzione della corrente si varia. Per molteplici esperienze si è potuto comporre una serie, nella quale ciascun metallo è *positivo* accoppiato con uno de' seguenti, *negativo* con uno de'precedenti: ecco l'ordine in cui son distribuiti:

Bismuto	Argento	Oro
Nichelio	Stagno	Zinco
Platino	Piombo	Carbone
Palladio	Rodio	Ferro
Cobalto	Ottone	Arsenico
Manganese	Rame	Antimonio.

Si vede pure nella serie un corpo non metallico, il carbone. Da Cumming si attribuisce un potere termo-elettrico altresì al mercurio; Magnus gliel nega, e Matteucci è giunto a dimostrare che i corpi, i quali l'ànno più intenso, come il bismuto e l'antimonio, il perdono se sono fusi.

137. **Pile termo-elettriche.** Più coppie termo-elettriche disposte in serie costituiscono le pile. Oersted e Fourier furono i primi a comporre una pila termo-elettrica, che fu modificata dal Nobili com'è nella fig. 173. Componesi d'una serie di verghe di bismuto e antimonio saldate insieme alternamente per modo che le saldature dispari 1,3,5,7.....sieno da un lato, le pari 2, 4, 6, 8... dall' altro; se mentre i capi della catena sono congiunti al galvanometro, si scalda un solo sistema di saldature, per esempio le impari, e la temperatura dell'altro sistema si mantiene costante, si avrà una corrente nella pila da M verso N.

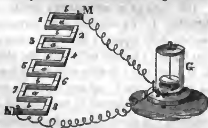


Fig. 173.

Diverse forme àn ricevute così le pile come le coppie termo-elettriche secondo gli usi, cui sono destinate. Esse àn prestato di grandi servigi alla scienza specialmente per la misura delle temperature, e per la ricerca delle leggi generali delle correnti.

1. *Termo-moltiplicatore di Melloni.* Una pila termo-elettrica congiunta al galvanometro costituisce il termo-moltiplicatore, che di tante scoverte fu cagione nelle mani del Newton del calor raggiante. Le coppie bismuto-antimonio son disposte come in un fascio prismatico parallele a strati sovrapposti, ma isolate per tutta la loro lunghezza con carta verniciata. I due sistemi di saldature corrispondono a due facce opposte, e son coverti di nero fumo. Finalmente il bismuto isolato da una parte, e l'antimonio dall' altra mettonsi in comunicazione co' fili del galvanometro.

2. *Aghi termo-elettrici di Becquerel.* Nello studio della temperatura degli animali Becquerel si è servito di due aghi (fig. 174), ciascun de' quali è metà ferro F, metà rame C: le due estremità ferro son congiunte con filo esilissimo anche di ferro, le estremità rame comunicano col galvanometro G. Essendo costante la temperatura della saldatura di un ago, e variando l'altra, il senso della deviazione dell' ago indica se questa si è abbassata o inalzata: laonde ponendo le saldature a contatto con due parti animali, si potrà scovrire in quale d'esse la temperatura è più elevata.

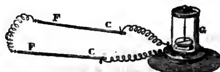


Fig. 174.

138. **Leggi e caratteri delle correnti termo-elettriche.** 1.ª *La intensità della corrente dipende dalla natura dei metalli della coppia, e dalla differenza di temperatura.* Quanto più son lontani i metalli nella serie che abbiamo data, tanto è più forte la corrente: e dentro certi limiti è proporzionale alla differenza di temperatura, ma con anomalie considerevoli.

2.ª *Essendo costante la natura della coppia e la temperatura, la corrente è la stessa senza influenza della estensione delle saldature o delle superficie a contatto.*

3.ª *La tensione delle correnti termo-elettriche è debolissima.* Nè può essere altrimenti per la resistenza sempre scarsa, che offre il circuito stesso della coppia o della pila perchè metallico. Adunque

a misurarne la intensità bisogna usare il galvanometro di quantità, e son necessarie moltissime coppie per avere la scintilla, e con difficoltà queste correnti traversano i liquidi, per cui nè anche sono atte agli effetti chimici; purtuttavolta Botto con 150 coppie di platino e ferro à ottenuto tracce di elettrolisi.

139. Sorgenti fisiologiche. I progressi della scienza ci àn rivelato che Galvani ben si apponeva nell'ammettere correnti elettriche di origine animale.

Corrente propria della rana. La prima esperienza sodisfacente in tal genere fu quella di Nobili. Preparata una rana alla Galvani ei ne immerse il pezzetto di spina da un lato, le zampe dall'altro in due bicchierini con acqua salsa: al tuffare nella medesima due laminette di platino congiunte ai fili del galvanometro, la rana si scosse, e l'ago deviò per una corrente, che andava nell'animale dalle zampe alla spina. Questa fu detta *corrente propria della rana*, la quale per altro sembra un caso particolare della seguente.

Corrente muscolare. Matteucci à scoverto ne' muscoli di tutti gli animali una corrente dall'interno del muscolo all'esterno. Ei si valse in prima della *rana galvanoscopica*, ossia d'una coscia di rana congiunta al suo nervo crurale, e rinchiusa in un tubo di vetro internamente verniciato perchè fosse del tutto isolata. Questa è sensibile ad ogni stimolo elettrico benchè tenuissimo; e di fatti si scuote quante volte l'estremo del filamento nervoso è introdotto in una ferita del muscolo, ed un altro punto ne tocca la parete esterna. Poscia impiegò gli scandagli galvanometrici, ossia due laminette di platino, una nell'interno della ferita, l'altra all'esterno, congiunte al galvanometro; ed ebbe indizio di corrente diretta nel muscolo dall'interno all'esterno. Finalmente compose le *pile animali*; ossia disarticolò le cosce di alquante rane dalle gambe, le tagliò a metà trasversalmente, e poi dispose tutte le mezze cosce inferiori in serie per modo, che l'esterno della seconda toccasse l'interno della prima, e così di seguito; immersi i due estremi di questa pila di rane in acqua acidula, vi tuffò i fili galvanometrici. Variando l'esperimento su animali di ogni classe sì vivi che morti, e sui varii organi, scovrì i seguenti fatti.

1.° Ne' muscoli di tutti gli animali circola una corrente diretta dall'interno all'esterno indipendentemente dal sistema nervoso.

2.° Essa persiste negli animali recentemente uccisi; ma per più

breve tempo in quelli a sangue caldo, che negli altri: ne'primi però è più intensa, ne'secondi più debole.

3.° La corrente è più forte o più persistente se l'animale è ben nudrito, o il muscolo infiammato: accade il contrario in circostanze opposte.

4.° L' avvelenamento con gli acidi carbonico e cianidrico, o con idrogeno arsenicale non à influenza sulla corrente muscolare: il gas solfidrico la distrugge interamente.

Contrazioni muscolari. Il valente anatomico di Berlino Bois-Reymond ebbe ad accorgersi, che, contraendo ora un braccio ora l'altro mentre le mani toccavano l'acqua salata di due scodellini, in cui erano immersi i fili del galvanometro, si svolgeva una corrente inversa, andante cioè dalla mano al braccio.

140. Pesci elettrici. Non solo la vita organica de' muscoli cagiona svolgimento di elettrico in tutti gli animali, ma ve n'à di quelli provveduti d'un organo, di cui questa è la speciale funzione. Si conoscono tre pesci indubitatamente *elettrici*: la *torpedine*, alla quale appartengono cinque generi, il *ginnoto*, il *siluro*, tra i quali i due primi sono stati meglio studiati. La osservazione sul *tetrodo* e il *trichiuro* à dato sempre risultati negativi.

La torpedine è comunissima ne' nostri mari, à forma di raia, e ve ne sono diverse specie. In prenderla tra le mani se ne prova una scossa, la cui massima intensità pareggia quella prodotta da una pila a colonna di 150 coppie carica con acqua salsa. Il miglior modo è di toccarne con una mano il dorso, con un'altra il ventre; ma si ottiene pure toccando due punti o del dorso o del ventre inegualmente distanti dalla linea mediana. È condizione indispensabile che il circuito sia chiuso; ma ciò può verificarsi anche per mezzo del suolo allorchè la torpedine non è isolata.

La scossa è spontanea nell'animale. Esso la impiega a fulminare i pesciolini di cui si pasce, o a difendersi; fa d'uopo eccitarlo per farne la esperienza; le prime scosse sono più valide, e man mano van perdendo di forza: col riposo una tale virtù si rinvigorisce.

Il mancare ogni effetto se toccasi la torpedine con un isolante basta a dimostrare l'origine elettrica di tali fenomeni; ma se mentre l'animale è in atto di dare la scossa toccansi il ventre e 'l dorso con due laminette di platino congiunte al galvanometro, quest' istrumento ci rivela una corrente, che va per l'animale dal ventre negativo al dorso positivo. Questa corrente è atta a produrre tut-

ti gli altri effetti delle correntl voltaiche, analisi, calamitazione, attrazionl e ripulsionl. Il P. Linari fn il primo ad avere la scintilla dalla torpediue, come Walsh dal ginnoto, ma con metodo ideato da Mattencci. Perchè riesce difficile interrompere il circuito ln quel preciso istante ln cui la torpedine eccitata slancia la corrente, io ideai il seguente artifizio; adagiato l'animale pel ventre su lamina metallica isolata e comnnicante con una specie di lima, si stimoli il dorso con un bottone metallico, ma impugnato con manico isolante,mentre nn filo di rame annesso al bottone scorre con nn suo estremo lungo le asprezze della lima; nell'atto della scarica apparisce sulla lima una striscia di luce.

Il ginnoto vive nell'America del Snd; à forma di anguilla che perviene a circa 2 metri di lunghezza, detta perciò *anguilla del Surinam*. Gli effetti sono i medesimi che quelli della torpedlne, ma incomparabilmente più intensi. La condizione ad avere la scossa è di toccare con le mani due parti dell'animale una verso la testa, l'altra verso la coda. Ma essa è potente a segno di abbattere sovente i cavalli, che gl'indiani cacciano negli stagni in cni vivono i ginnoti: con ciò le angnille stesse si affievoliscono e si abbandonano innocue snlle sponde. Faraday la nguaglia alla scossa d'un coibente armato dell'estensione di due metri qnadrati e un quarto. La corrente va nell'animale dalla coda alla testa. Ho qnì avnto opportnnità nel 1844 di ottenere tutti gli effetti delle correnti dal ginnoto, che fn serbato vivo per oltre nn anno.

Lo svolgimento della elettricità è dovuto in qnesti animali ad un organo speciale, detto perciò *organo elettrico*. Nella torpedine è collocato verso la estremità cefalica con simmetria a dritta e sinistra della linea mediana; e si compone di 400 a 500 prismi l'uno all'altro addossati andanti dal ventre al dorso dell'animale, ciascnn de'qnali è formato di gran nnmero di vescichette sovrapposte e piene d'un liquido denso, ch'è 9 d' acqua per 1 d' albumina con poco sal marino. Con ciò tntto l'organo à l'apparenza d'un favo, ed ogni prisma sembra diviso come da diaframmi normalmente al suo asse. Abbondanti ramificazioni nervose son distribuite per l'organo, le quali partono dal cervello; di questo influisce snlle scosse il qnarto lobo, che Matteucci à chiamato *lobo elettrico*. Egli pnre à dimostrato essere ciascuna vescichetta l'organo elettrico elementare, poichè la *rana galvanoscopica* si scuote se il filamento nervoso ne tocca una sola.

Dalla somiglianza di forma Volta avea opinato che l'organo elettrico fosse analogo alla sua pila a colonna, e che l'animale il mettesse in attività stabilendo i contatti mediante la compressione; e gli parve sì completa la somiglianza da fargli denominare la pila *organo elettrico artificiale*. Altri àn comparato l'organo elettrico ad una spirale elettro-magnetica, nella quale in ogni scarica s'ingenererebbe una *estracorrente*. Matteucci ritenendo che la contrazione muscolare svolga elettricità, opina che nell'atto di pervenire la irritazione nervosa alle vescichette elementari vi sia sbilancio di elettrico, e che l'organo sia un apparecchio moltiplicatore: la carica dura un solo istante se quello è circondato da corpi conduttori: la scarica poi succede parte attraverso il circuito esterno, e parte attraverso l'organo stesso secondo la differenza della virtù conduttrice del mezzo e dell'organo.

APPENDICE

APPLICAZIONI SPECIALI DELL' ELETTRODINAMICA

1. APPLICAZIONI DELLA ELETTRO-CHIMICA.

141. Scoverta di Davy. Dal potere elettro-litico della corrente, e dalla teoría elettro-chimica tolse Davy la idea per impedire il logoramento del rame, che riveste le carene de' bastimenti. Poichè il rame scompone l'acqua e si ossida, egli l'accoppiò ad una lastra di zinco; questo allora divien positivo, e con esso, non più col rame che è divenuto negativo, va a combinarsi l'ossigeno. Surse però un altro inconveniente, che tutti gli elementi positivi, la calce, la magnesia e simili vanno a depositarsi sul rame; anche i molluschi vi si attaccano in quantità prodigiosa a segno di accrescere di troppo la resistenza della nave in fendere le onde. Fu serbata dunque tale pratica solamente per le navi che sono ferme ne' porti.

142. Affinità preponderanti. Se una verga di ferro s'immerge in soluzione di solfato di rame, il ferro si ossida a spese dell'ossigeno dell'ossido di rame; l'ossido di ferro si combina all'acido solforico, e 'l rame ridotto precipita sul ferro residuo: si forma allora una coppia *ferro e rame*, la cui corrente rende più rapida la

scomposizione del sale di rame. Somigliante è la spiegazione del tanto celebrato *albero di Saturno.*

Berzelius à dato questa serie, in cui ogni metallo è ridotto dalla soluzione d'un suo sale per azione di quelli che il seguono:

Oro, argento, mercurio, bismuto, rame, stagno, zinco.

143. Metallo-cromia. Il Nobili nel 1826 facendo precipitare i prodotti dell'azione chimica della corrente su lamine metalliche pervenne a produrre anelli colorati di bella apparenza. La lamina deve essere ben forbita e lucente: si pone in fondo ad uno scodellino in cui si versa una soluzione salina poco più di quanto basta a covrirla, sia ad esempio acetato di piombo: si fa poi comunicare la lamina col polo positivo d'una pila di 4 a 5 coppie alla Bunsen, e le si avvicina una punta di platino, che pesca pure nel liquido, e va al polo negativo. Se la soluzione fosse di acetato di rame, bisognerebbe invertire gli elettrodi.

Appressando alla lamina più fili di platino comunicanti col medesimo polo si producono altrettanti sistemi di anelli, che, comunque sieno prossimi i fili, mai non si tagliano.

Il Nobili era riuscito a variare i colori, e compose una scala che disse *cromatica* di 44 tinte; ma tenne segreto il metodo sperandone un' applicazione alle arti. Pacinotti e Becquerel ànno ottenuto lo stesso dando anche ai colori maggiore stabilità.

144. Elettro-doratura, argentatura, e simili. Come ricovrire una superficie metallica d'un sottile strato di altro metallo è senza dubbio scoverta italiana. Il Brugnatelli prima del 1805 avea dorato e ramato con le soluzioni di ammoniuro d'oro e di rame. Il De la Rive nel 1840 ne fu come un secondo inventore.

Il metodo consiste nel far comunicare col polo negativo di una pila di due o tre elementi alla Bunsen l'oggetto da dorare ad esempio, e col polo positivo una lamina di platino, mentre l'oggetto e la lamina sono immersi in soluzione d'un sale di oro. La corrente la scompone, e l'oro si precipita sul polo negativo.

È indispensabile che l'oggetto sia ben netto, e che il bagno non sia a temperatura più bassa di 20°.

Per *dorare* De la Rive usò il cloruro d'oro neutro; ma la migliore soluzione si fa sciogliendo un grammo di cianuro d'oro in 100 d'acqua, la quale contenga 100 grammi di cianuro di potassio. Per *inargentare* si scioglie l'azotato di argento puro in soluzione bollente di ferro-cianuro di potassio. Per *platinare* si adopera la solu-

zione di platino e di potassio nella potassa caustica. Per *ramare* quella di cianuro di rame nei cianuri alcalini: per *piombare* e *stagnare* l'ossido di piombo e di stagno sciolti nella potassa: per *zincare* il cloruro di zinco; e per formare il ferro detto *galvanizzato*, cioè ricoperto di zinco, si usa l'ossido di zinco sciolto in soluzione di potassa (*).

145. **Galvanoplastica.** Spencer in Inghilterra e Jacobi in Russia nel 1838 imaginarono la *galvanoplastica*, ossia l'arte di riprodurre in rilievo un modello per virtù della corrente.

La vasca E (fig. 175) contenga una soluzione, ad esempio, di



Fig. 175.

solfato di rame. Alle due traverse A, B si sospendono una lamina di rame ed una medaglia o il modello che si vuol riprodurre, comunicanti la prima col polo positivo della pila, il secondo col negativo. Il solfato si scompone, e sul modello precipita rame di spessezza sempre crescente a segno, che dopo un certo tempo se ne stacca una medaglia, in cui sono riprodotte in concavo le parti sporgenti del modello, ed in rilievo le parti cave.

Il modello o lo stampo si forma di *lega fusibile*, o anche di cera o di stearina, o di gesso imbevuto di cera, o pure di caoutchouc o di gutta perca; e poichè tutte queste sostanze, tranne la lega, non sono conduttrici, se ne covre la superficie con grafite.

È importante che la soluzione sia sempre satura: è vero che co-

(*) O' esposto ampiamente così quest' argomento, come quello de' due numeri seguenti, nella nota LII a' Primi elementi di chimica di Regnault.

me il solfato di rame si scompone, se ne forma pure al polo positivo dove l'acido attacca la lamina di rame, ma è bene aggiungere alla soluzione de' cristalli di solfato di rame.

Speciali stabilimenti sono stati fondati sovrattutto in Germania per eseguire in grande lavori galvanoplastici. È celebre fra gli altri quello dello scultore Stigelmayer, che à coverto di rame statue gigantesche di gesso; ed à saputo con pari destrezza riprodurre dei piccoli oggetti, come fiori, foglie, piante e financo insetti.

146. **Elettro-incisione.** Sovra una lamina di rame ben forbita si stende a caldo un sottile strato di vernice degl'incisori, formata di pece nera o di cera e di asfalto. Su questa si esegue il disegno che piace con bolino, il quale asporta via la vernice e scovre la superficie del rame. Se dunque immergesi tale lamina nella soluzione di solfato di rame, ma in comunicazione col polo positivo, l'acido del solfato, che si scompone, attacca i punti scoverti del rame e lo discioglie, e in pochi minuti la incisione è eseguita. Per avere un lavoro a tratti più o meno risentiti o a mezze tinte, si solleva a quando a quando la lastra dal bagno, e prima si ricoprono di vernice i tratti più dilicati, poi successivamente gli altri, affinchè l'azione della corrente si protragga più a lungo là, dove la incisione deve riuscire più profonda. Non v'è bisogno notare, che in questa guisa la incisione è analoga a quella che dicesi ad *acqua forte*.

Sorprendente oltremodo è la elettro-incisione delle lamine daguerriane. Nella nota da me citata ò descritto il metodo di ottenerla. È sublime la espressione di Grove, che sotto le prove ottenute con tai mezzi dovrebbe scriversi: *disegnate dalla luce, ed incise dalla elettricità.*

II. APPLICAZIONI MECCANICHE.

147. **Elettro-motori.** Non appena fu scoverta la forza immensa di attrazione, che acquista e perde una elettro-calamita al chiudersi ed all'aprirsi del circuito elettrico, ed immediatamente surse la idea di valersene come forza motrice. Dal Negro in Italia, e Jacobi in Russia pare sieno stati i primi ad attuarla. Il secondo de' quali giunse a far muovere sulla Neva un battello carico di 12 persone con velocità di 5 chilometri l'ora.

Il principio è sempre il medesimo: l'elettro-calamita attrae un'ancora, che può essere essa stessa elettro-calamita ed è mobile con moto di rotazione: giuntale di rincontro o si apre il circuito e non

più l'attrae, o i poli s'invertono e la respinge : se moltiplicansi le elettro-calamite o le ancore, o si dispongono convenevolmente, si avrà un moto continuo di rotazione, la cui velocità è in ragione del numero e della forza di quelle.

La fig. 176 rappresenta uno de' tanti motori delle grandi galle-

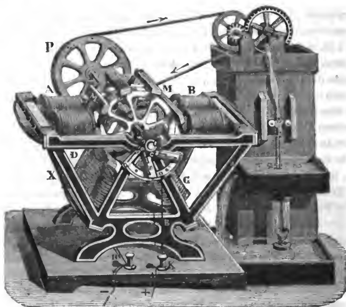


Fig. 176.

rie di Froment, moventisi come per incanto ad un semplice segno, che pure elettricamente si trasmette. Componesi di quattro elettro-calamite A, B, C, D raccomandate in giro al medesimo sostegno X: nel mezzo v'è un sistema di due ruote parallele di ghisa mobili attorno l'asse orizzontale, sulle quali sono adagiate ad uguale distanza otto ancore di ferro dolce M, M... Fissato l'elettrodo positivo in K, il negativo in H, la corrente ascende pel filo E, perviene all'arco metallico O, d'onde per uno de' tre raggi *e*, che sono mobili e toccano alternamente un metallo o una rotella di avorio, va per tal modo nelle elettro-calamite, che le loro attrazioni sulle ancore sieno cospiranti a farle girare sempre pel medesimo verso. La rotazione dell'asse poi si comunica per mezzo d'un

volante P e d'una fune perpetua o ad una tromba come nella figura, o a quella specie di meccanismo che meglio si vuole, per esempio ad un martello, ad un molino, ad una sega.

Botto à ottenuto per misura del lavoro d'un motore elettro-magnetico, che 67 chil. di zinco consumandosi nella pila in 24 ore producono un lavoro pari a 22 milioni di chil. elevati a un metro di altezza. Questi numeri ecciterebbero grandi speranze sull'avvenire dell'elettro-magnetismo. Attualmente però non v'è convenienza di sostituirlo al vapore ; poichè lo zinco che si consuma nella pila , e il carbone che brucia sotto una caldaia , debbono essere nella ragione di 3 a 1 per produrre il medesimo effetto; e di più il costo dello zinco è assai maggiore di quello del carbone. Ma non è così se guardisi alla precisione dell' effetto: intorno a che basterà citare una macchina che ò veduta presso Froment atta a dividere un millimetro in 1000 parti uguali, e'l telaio meccanico di Bonelli adatto a sostituire quello di Iacquard.

148. **Orologi elettrici.** Wheatstone e Bain in Inghilterra ancor si disputano la priorità della scoverta degli orologi elettrici, che datano dal 1840. Sono essi fondati sull' effetto meccanico d' una elettro-calamita operante a uguali intervalli. Poniamo infatti , che quando cessa la corrente una molletta allontani l' ancora dalla elettro-calamita; per tal modo essa acquisterà un moto di oscillazione, che può comunicarsi mediante un sistema di ruote dentate a un indice, e questo segna le ore sopra un quadrante. Rimane solo a indicare come dare regolarità a quelle alternative , condizione indispensabile alla misura del tempo.

Ciò si consegue in doppio modo , d' onde un duplice sistema di orologeria elettrica. Primamente si può impiegare a chiudere e aprire il circuito dell'elettro-calamita il bilanciere stesso o qualunque altro meccanismo, che regola il cammino d'un orologio ordinario; questo dicesi *orologio tipo*, e l'orologio elettrico, ad esso fedelmente sincrono , chiamasi *elettro-cronometrico*. Di questo sistema si fa uso lungo le linee di strade ferrate per avere un perfetto accordo negli orologi di tutte le stazioni.

Se poi soppprimesi l'*orologio tipo*, e s'impiega per chiudere ed aprire il circuito un pendolo che batte ad esempio i secondi, e vince le resistenze per virtù d'una elettro-calamita, si à un orologio *elettro-magnetico*.

La fig. 177 rappresenta un orologio di questa natura esposto

da Froment nella solenne mostra del 1855. P è un pendolo a secondi: vien sospeso mediante la molla BA all'appoggio di rame M, ed è munito dell'appendice E*n* che finisce con vite. Sulla vite poggia un

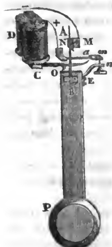


Fig. 177.

contropeso di rame *m*, che si trova all'estremo della leva N*am* mobile intorno al punto N. Da ultimo la elettro-calamita D agisce sull'ancora C, la quale è all'estremo di un'altra leva CFO mobile in un piano verticale intorno al punto O.

Ciò posto, la corrente, che esce da un capo del filo dell'elettro-calamita, percorre la leva N *am* e per l'appendice *n*E viene alla molla BA, e per M ritorna alla pila. Or egli è chiaro che ciò succede allorchè il pendolo òscillante si trova a destra di chi guarda la figura; ma quando ascende dalla parte opposta, la vite *n* più non tocca il rame *m*, e 'l circuito sarà interrotto. L' ancora dunque C cade, e l' estremo opposto della leva sollevandosi alzerà pure il contropeso, per farlo cadere di nuovo allorchè si chiuderà da capo il circuito. Le impulsioni del contropeso *m* mantengono il movimento del pendolo, le cui oscillazioni isocrone regolano l'orologio.

III. TELEGRAFIA ELETTRICA.

149. **Cenno storico.** La origine della *telegrafia elettrica* risale all'istessa epoca degli studii sulla velocità dell' elettrico; chè quella si propone appunto la soluzione di questo maraviglioso problema: *formare un discorso con la rapidità della scrittura, e trasmetterlo in distanza con la velocità dell' elettrico.* Riesce però malagevole definire il vero inventore de' telegrafi elettrici, e Wheatstone enumera 72 nomi di pretendenti a tale onore. Il certo si è che i primi a scovrire i principii e a far le esperienze, che poi condussero a un tanto trovato, neanco ne sospettarono; gli ultimi rinvennero assai di già fatto per poter dividere con quelli la gloria dell'invenzione.

Mettendo da un canto il progetto di corrispondenza tra due amici lontani per mezzo d'una calamita, secondo leggesi nelle *Pro-*

lusioni di Strada: e l'altro meno arbitrario di uno scozzese innominato C, M, il primo fatto di telegrafia elettrica attuata ebbe luogo a Ginevra nel 1774 per opera di Lesage, il quale isolò tra loro e dal suolo 24 fili metallici, che da un lato rispondevano ad una macchina elettrica, dall' altro ad altrettanti elettrometri in vicinanza delle singole lettere; elettrizzando piuttosto un filo che l'altro, il moto del corrispondente elettrometro designava le lettere. Vennero poi Betancourt, Reyser, Cavallo, Beckman e Salva, che tutti impiegarono variamente la elettricità di strofinio. Il primo si valse d'una bottiglia di Leida, Reyser propose d'illuminar le lettere con la scintilla, Cavallo trasmise i segnali con l'accensione di materie combustibili o detonanti, e Salva fece altrettanto con macchina a disco di 40 pollici di diametro.

Ma la telegrafia sarebbesi per sempre ristretta alle sole esperienze di gabinetto senza la grande scoverta del genio di Como. Non appena furono conosciuti la pila e gli effetti della corrente, che tutti vennero impiegati un dopo l'altro in servizio della telegrafia, a cominciare dalla scomposizione dell'acqua secondo il suggerimento di Coxe di Filadelfia nel 1810, e di Soemmering in Monaco nel 1811.

150. **Classificazione dei sistemi telegrafici.** Richiedendosi de' volumi per esporre i singoli telegrafi in uso, non che i progettati, sarem contenti descrivere i più accreditati. Classifico i telegrafi in sistemi dal principio immediato di loro azione, cioè in *galvanometrici*, *elettro-magnetici*, ed *elettro-chimici*. I primi, detti pure *ad aghi*, operano per l'azione della corrente sull' ago calamitato, i secondi impiegano la virtù magnetizzante, i terzi il suo potere elettro-litico. Sovente però si fa uso di più effetti della corrente nel medesimo telegrafo.

Possono anche distinguersi secondo il modo fuggevole o permanente di loro azione in telegrafi *indicatori* e *scriventi*.

151. **Telegrafi galvanometrici.** Appena dopo la scoverta di Oersted, Ampère manifestò all'accademia di Francia il 2 ottobre 1827 la idea d'impiegare per la telegrafia il moto d' un ago cagionato dalla corrente; ma non fu messa ad atto che nel 1834 da' professori Gauss e Weber, i quali se ne valsero tra l'osservatorio e 'l gabinetto di Fisica dell'Università di Gottinga.

Steinheil nel 1837 stabilì a Monaco un simile telegrafo detto *grafico* e *fonetico* perchè si valeva pure della scrittura e del suono.

Componevasi, come ogni telegrafo, di due parti principali distanti 18,000 piedi; dell'apparecchio cioè che svolge la corrente, ed era una modificazione della macchina di Clarke, e del *segnalatore* consistente in due aghi sospesi ad assi verticali. Gli aghi oscillanti percuotevano due campane di tuoni diversi, donde una specie di linguaggio musicale. Inoltre due tubi capillari muniti d'inchiostro grasso segnavano de' punti neri sopra una striscia di carta in due linee diverse come le note musicali; i punti corrispondenti a'suoni acuti in alto, i gravi in basso.

Anche nel 1837 Wheatstone ebbe privilegio pel suo telegrafo a 5 aghi, che fu stabilito nella prima linea telegrafica tra Londra e Birmiugham; ma trasmetteva bene i segnali anche a distanza di 40 miglia. Le lettere emergevano dal parallelismo o dalla varia inclinazione degli aghi. Egli poi il perfezionò impiegando due soli aghi, e così viene usato generalmente in Inghilterra. In seguito Bain ed Ekliug il ridussero ad un ago solo.

Il telegrafo di Henley agisce pure ad un ago. In esso il *manipolatore* (fig. 178) è un apparecchio d' induzione magneto-elettrica, ossia una calamita permanente, innanzi a cui v' è una elettro-calamita, la quale mediante un tasto T può presentare l'uno o l'altro estremo a ciascun polo della calamita, donde una corrente indotta; e lasciato il tasto ritorna alla posizione prima. Il *segnalatore* poi è una elettro-calamita, ed un ago calamitato che oscilla tra i suoi poli. Alla elettro-calamita son congiunti due archi semi-circolari di ferro dolce costituenti 4 poli; nel cerchio che essi formano si trova l' ago. Questo telegrafo fu adottato nelle nostre prime linee, ed è ritenuto per la corrispondenza interna.

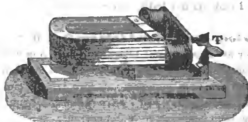


Fig. 178.

152. Telegrafi elettro-magnetici. Sono molte le forme date a questi telegrafi; ma in generale van distinti comodamente in due categorie: telegrafi *a quadrante* cioè e telegrafi *scriventi*.

1. *Telegrafi a quadrante.* Wheatstone è stato il primo ad immaginare questa forma di telegrafi, ed essi veramente son riusciti a rendere familiare la telegrafia.

Telegrafo di Froment. Questo semplicissimo modello fu imaginato da Froment per la dimostrazione. Il *manipolatore* (fig. 179) stabilito alla stazione di partenza, e il *segnalatore* (fig. 180) che



Fig. 179.

trovasi alla stazione di arrivo, son congiunti per mezzo di due fili conduttori O D, I L. Entrambi son provveduti di due dischi uguali

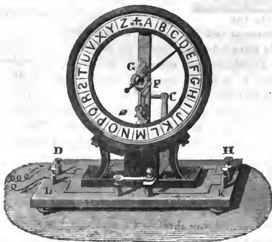


Fig. 180.

con le 25 lettere, più uno spazio occupato dal segno +. Il disco del manipolatore à nel centro una ruota metallica R con 26 denti mo-

bile a mano per mezzo della sfera RP. Il disco del segnalatore à un indice che segna le lettere.

La corrente della pila Q entra per A nel manipolatore, per la molla N passa nella ruota R, quindi alla molla M; poi pel conduttore OD va nel segnalatore, e dopo averne percorso il meccanismo, per H, K, L, I, B ritorna nella pila.

Or si osservi che la molletta N è sempre a contatto della ruota R, ma l'altra molletta M à un estremo sporgente; laonde al volgersi della ruota allorchè la molletta M da un dente passa al seguente il circuito si apre e presto si chiude.

Per intendere poi il meccanismo del segnalatore, esso vedesi a parte nella fig. 181, e si compone d'una elettro-calamita *b*, che agisce sull' ancora *a* fissa alla leva zancata *oa*C, la quale è mobile attorno al punto d'appoggio *o* ed è equilibrata dalla molletta *r*. Allorchè la elettro-calamita attira l'ancora, il moto del braccio di leva C si comunica per mezzo di una seconda leva zancata C*id* all' asta biforcata F, e per essa all'indice mediante la ruota G, ch' è dentata come quella del manipolatore F. Allorchè la elettro-calamita *b* cessa di attrarre, l'ancora ritorna al suo posto e con essa tutt' i pezzi che ne dipendono.

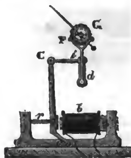


Fig. 181.

Or se la sfera del manipolatore e l' indice del segnalatore sono entrambi da principio sul segno +, allorchè quello si trasferisce sulla lettera A, si chiude una volta sola il circuito in M; e succedendo una sola attrazione della elettro-calamita, anche l' indice del segnalatore passerà sulla lettera A. Così andran sempre di accordo sfera e indice. Si ritiene poi che fa parte della segnalazione solamente quella lettera, sulla quale l'indice si ferma un tempo stabilito per convenzione.

Telegrafo di Breguet. Su tutte le strade ferrate di Francia si usa un telegrafo a quadrante modificato da Breguet. Il suo manipolatore (fig. 182) si compone d'un disco metallico fissato con tre viti sopra una base, intorno al quale v'à degl'incavi in corrispondenza delle lettere e de' numeri che sono segnati in giro a due ordini sul quadrante. Nel centro v'è una manovella articolata con un asse, che porta una ruota, sul piano della quale àvvi una scanalatura

con all'orlo delle sinuosità di ugual numero che i segni del quadrante. Questa ruota girando cagiona un moto alternativo di va-e-vieni alla leva intorno al centro O, la quale tocca alternamente i piuoli P, P. Servono questi a chiudere ed aprire il circuito, cosicchè per un giro intero della ruota la leva G fa tredici oscillazioni; ciò riducesi ad aprire e chiudere altrettante volte il passaggio alla corrente. Finalmente le viti che sono sulla stessa base servono a mettere in attività gli accessorii che diremo accompagnare ogni telegrafo.

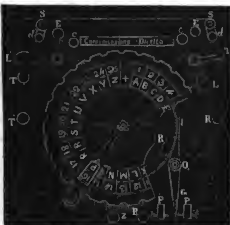


Fig. 182.

Nel segnalatore (fig. 183, 184) il quadrante è fisso con due circonferenze concentriche, per le lettere l'una, l'altra pe' numeri. Il



Fig. 183.



Fig. 184.

meccanismo è affatto simile a quello di Wheatstone; à due parti: un sistema d'orologeria animato da una molla che tende a far girare l'ago rapidamente, ed un elettro-magnete, la cui armatura è

congiunta ad una leva, la quale non permette alla ruota con tredici denti che di avanzarsi mezzo dente per volta.

Telegrafi di Siemens e di Cramer. Sono anch'essi due telegrafi a quadrante impiegati esclusivamente in Alemagna, meno il secondo che il primo, col quale si è giunto a comunicare direttamente a 400 chilometri di distanza senza *rilievo* o *traslazione*. In entrambi l'indice si avanza costantemente finchè una caviglia l'arresta: in quello di Siemens l'aprire e chiudere il circuito elettrico fa camminare l'indice, il che vien prodotto in quello di Cramer da un meccanismo d'orologeria.

Telegrafo a tastiera di Froment. È un telegrafo a quadrante (fig. 185) del quale però il manipolatore à una tastiera identica a



Fig. 185.

quella dei pianoforti, e ad ogni tasto risponde una lettera o una cifra. Basta poggiare il dito sopra un tasto piuttosto che sull'altro perchè l'indice della stazione di arrivo si fermi sul segno analogo. È evidente il vantaggio che si trae da questa specie di manipolatore conveniente altresì alle persone che non vi sono abituate; ed è ugualmente vero che ò veduto rispondere pienamente all'effetto cotal meccanismo sebbene abbastanza complicato.

Telegrafo di Foy e Breguet. Questo telegrafo ideato dal primo e costruito dal secondo pel suo meccanismo rassomiglia in tutto ai telegrafi a quadrante, ed è adoperato dal governo francese. Il *manipolatore* è simile a quello del telegrafo Breguet, ma è doppio cosicchè l'impiegato deve operare insieme con le due mani. È nel davanti della fig. 186, e consiste in due colonne metalliche con in

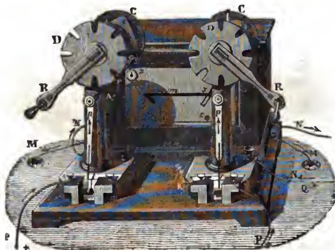


Fig. 186

alto i dischi fissi D, D, a otto denti, e due manovelle mobili R. R, che valgono a permettere o intercettare il camino della corrente al *segnalatore*. Questo vedesi nel fondo; ed è una tavola bianca di acero e due indici x, y, tra i quali corre un tratto orizzontale M. V'è poi l'ordigno espresso a parte dalla fig. 187; cioè due sistemi d'orologeria che muovono gl'indici. Da ogni lato una elettro-calamita fa oscillare una leva, e questa fa volgere una ruota a quattro denti: per ogni oscillazione semplice di quella, l'indice gira 45 gradi, donde otto posizioni analoghe a quelle del telegrafo aereo di Chappe; e combinando quelle dei due indici col tratto M si avrebbero 64 segnalazioni, che riduconsi a 49 valutando una volta sola le due posizioni orizzontali di ciascun indice.

Un tal sistema richiede due pile e due conduttori; per essere due i movimenti di orologeria raddoppia l'inconveniente di tutt'i telegrafi a quadrante, cioè che la non corrispondenza tra un se-

gno solo del manipolatore e del segnalatore trasporta seco la confusione dei segnenti, finchè non siensi regolati gli apparecchi.

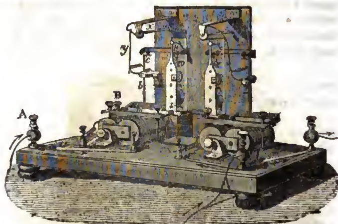


Fig. 187.

153. Telegrafi scriventi. È immenso il vantaggio dei dispacci scritti in vece dei segnali fuggitivi, che richieggono attenzione continua, nè danno come verificare se siasi commesso errore.

Telegrafo di Morse. Il telegrafo di Morse ideato nel 1832, ed attuato nel 1838, che tutt'i pregi riunisce di rapidità, di perfezione, e di sicurezza, è adoperato su quasi tutte le linee degli Stati Uniti di America ed in parecchie di Europa.

Il *manipolatore* (fig. 188), che dicesi pure *chiave*, è una specie di tasto o leva metallica *hh* mobile sopra uno zoccolo intorno a un asse orizzontale. La molletta *r* la solleva da un suo estremo, e 'l bottone B serve ad abbassarla: dall' altro estremo una punta *a* la fa comunicare col filo A. In questa posizione si ricevono i dispacci: la corrente che viene per L dall' altra stazione entra ad agire per *haA*. Quando invece si vuole spedire un dispaccio, si abbassa il tasto B, con che si viene a chiudere il circuito tra la pila P la leva *hh* e 'l filo di linea L, e la corrente si porta alla stazione con cui si à corrispondenza.



Fig. 188.

Il *segnalatore* poi (fig. 189) si compone d'una elettro-calamita EF, il cui filo termina alle due viti di pressione *a*, *b*. Essa attrae l'ancora D situata all'estremo d'una leva A; le viti *m*, *m* regolano

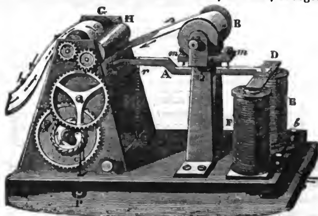


Fig. 189.

l'ampiezza dell'oscillazione, ed una molla a spirale *r* dall'altro estremo la equilibra. Di qui v'è una punta d'acciaio *o*, la quale si eleva quando l'ancora viene attratta, e va a toccare una striscia di carta *p*, che si svolge da un rocchello B e passa tra due cilindri G, H. Questi rotano attorno a' loro assi in senso opposto mediante ordigno d'orologeria, che è animato da un peso P raccomandato ad una corda C avvolta attorno a un barile K.

Si comprende da se che abbassando un istante il tasto della chiave e poi lasciandolo, la elettro-calamita EF attrarrà pure l'ancora istantaneamente, e la punta *o* segnerà sulla carta un punto; se il circuito resta chiuso qualche tempo la punta *o* segnerà una linea: le diverse combinazioni di punti e linee sono le lettere o i segni convenzionali, che possono variare in mille guise pel linguaggi in numeri o in cifre. L'alfabeto usato pel linguaggio comune è espresso nella tavola seguente:

Alfabeto di Morse.

. —	a	. .	i	. —	r
. — . —	ă	. — — —	j	. . .	s
— . . .	b	— . —	k	—	t
— . — .	c	. — . .	l	. . —	u
— .	d	— —	m	. . — —	ü
.	e	— .	n	. . . —	v
. . — . .	é	— — —	o	. — —	w
. . — . .	f	— — — .	ŏ	— . . —	x
— — .	g	. — — .	p	— . — —	y
. . . .	h	— — . —	q	— — . .	z

Modificazioni del telegrafo di Morse. Molte modificazioni sono state proposte al telegrafo di Morse dall'inventore e da altri nell'intendimento di perfezionarlo. Alla punta di acciaio si è sostitnita nna matita, o un tira-linee, o un pennello continuamente bagnato d'inchiostro: ed al peso movente il sistema d'orologeria per isvolgere la carta una elettro-calamita, e alla chiave un sistema di composizione. Alcune d'esse però il rendono più complicato.

Telegrafo di Hugues. Qui van noverati i telegrafi che stampano le lettere dei dispacci, e tra gli altri quello di Hugues. Componesi di una ruota, sulla cui circonferenza sono le lettere in rilievo, e d'una tastiera. Toccando un tasto piuttosto che l'altro la lettera corrispondente s'imprime sulla carta che scorre.

É questo pnre un telegrafo elettro-magnetico; ma à di singolare che non una elettro-calamita temporanea, ma una calamita permanente ritiene l'ancora a contatto: la corrente la smagnetizza a tempo, e una molla antagonista distacca l'ancora. Laonde poichè la elettro-calamita non deve agire a distanza come negli altri telegrafi elettro-magnetici, basta una corrente debolissima a generare il moto e non à bisogno di traslazione.

154. Telegrafi elettro-chimici. Sull'azione elettro-litica è fondato il telegrafo scrivente di Bain usato tra Londra e Manchester e tra Manchester e Liverpool, il quale è più semplice di quello di Morse, perchè non à bisogno di elettro-calamita.

Il principio è il seguente. Poniamo che nna carta imbevuta prima con soluzione di cianuro di potassio e poi bagnata con acido cloridrico venga esposta ancora umida all'azione d'una corrente

che passa per una punta di acciaio in contatto col polo positivo; la punta vi segnerà una traccia azzurra, che risponderà alla durata del contatto. Può dunque aversi un dispaccio scritto in caratteri analoghi a quelli di Morse con punti e tratti, senza ricorrere alla elettro-calamita che muova la punta: basterà che questa sia sempre a contatto con la carta umida scorrente, ed i segni si otterranno semplicemente pel chiudersi ed aprirsi il circuito.

Pantelegrafo di Caselli. S'imaginino due cilindri giranti con moto lento e uniforme intorno ai loro assi; e sovr'essi due pendoli ugualmente isocroni, avente ciascuno all'estremo uno stile. Mentre il cilindro compie una rotazione intera, lo stile oscillante avrà toccato successivamente tutt'i punti della sua superficie. Or dei due sistemi uno sia nella stazione di partenza, l'altro in quella di arrivo: se sul primo cilindro si colloca il dispaccio scritto su carta isolante con inchiostro conduttore, e sul secondo una carta preparata, è chiaro che il passaggio della corrente dal primo stile al secondo avverrà solamente allorchè il primo tocca i caratteri, e però il secondo per successione di punti darà il fac-simile del dispaccio originale (*).

155. **Conduttori ed isolatori.** Il filo metallico, pel quale passa la corrente, dicesi *conduttore*, ed è un filo di rame coverto di gutta-perca nell'interno di una stazione, un filo di ferro zincato di 3 o 4 millimetri di diametro tra due stazioni. Primamente per comunicare tra due stazioni se ne impiegavano due. Aldini in verità avea scoverto che la corrente passava facilmente per lungo tratto di mare: poi Bain e Jacobi avean veduto che succedeva lo stesso per la terra; donde Steinheil nel 1838 soppresse il conduttore di ritorno nel circuito telegrafico. La terra ne fa le veci, non già conducendo di fatti la corrente con resistenza nulla per la grande sezione, ma neutralizzando gli stati elettrici opposti. A tal fine in ogni stazione s'immerge nel suolo umido una grande lamina metallica, colla quale comunica il polo negativo della pila della stazione che trasmette.

Adunque il filo dev'essere perfettamente isolato: e perchè ciò è mal riuscito finora con qualunque tentativo interrandolo, il filo si sospende a pali più o meno alti mediante *isolatori* di porcellana o di vetro di varia forma. Sovente più fili son raccomandati all'istesso palo come nelle fig. 190, 191.

(*) Il sig. Alessio Marone avea proposto nel 1849 un'altra maniera di telegrafo elettro-chimico, che dovrebbe figurare nella storia della telegrafia elettrica.

Il migliore isolante deve essere di vetro che abbia contatto minimo col filo e sia difeso da cappelletto come quello che è fatto

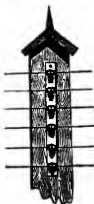

Fig. 190.


Fig. 191.

adottare nelle nostre linee telegrafiche.

L'isolatore usato in Francia (fig. 192) è una specie di piccola campana a due orecchie forate per attaccarla con viti al palo : all' interno vi si fissa con solfo un gancio sovente a spira, che sostiene il conduttore. In molti luoghi di Germania à pure la forma di campana schiacciata (fig. 193) con un incavo prismatico, nel quale introducesi il pezzo che sostiene il filo. Oltre questi s' impiegano pure in America le forme indicate dalle fig. 194 e 195.


Fig. 192.

Il conduttore deve essere ben teso, e perciò ad ogni chilometro


Fig. 193.


Fig. 194.


Fig. 195.

v'è un *apparecchio di trazione* (fig. 196), ossia un verricello con la

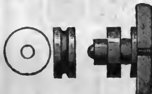
ruota a rocchetto su cui si avvolge la estremità del filo. Di tal forma, cioè doppio, si usa nel mezzo della linea, e s' introduce in un pezzo di porcellana (fig. 197) per fissarlo al palo. Al principio della linea è la metà del precedente: finisce con un anello fissato a una girella di porcellana bucata nel centro (fig. 198).


Fig. 196.

156. **Rilievo.** Una grande scoverta di pure Wheatstone à contribuito non poco al perfezionamento della telegrafia in generale. Una corrente troppo intensa si richiede perchè da una stazione agisca direttamente sulle macchine dell'altra così, che distinti o bene impressi riescano i segnali; ma può essa bastare comunque debole a fare agire una elettro-calamita destinata a chiudere il circuito di una *pila locale*, la cui corrente mette in attività la macchina. Tale ordigno (fig. 199) dicesi *rilievo* con nome tolto felicemente dalla posta a cavalli.


Fig. 197.

E rappresenta l'elettro-calamita del segnalatore, P la pila locale, R il rilievo, M il manipolatore. La corrente della linea passa per LM solamente nella elettro-calamita del rilievo e va alla terra : ma la paletta D che sostituisce l'ancora e può oscillare tra le viti A e B, allorchè è attratta vince la molletta antagonista K e tocca B. Con ciò è chiuso il circuito della pila locale, il cui polo positivo comunica con la vite B, ed il negativo con la paletta in C mediante il filo della elettro-calamita E.


Fig. 198.

Rilievo di linea, traslazione. Anche un rilievo modificato serve ad operare la così detta *traslazione*, mercè la quale possono comunicare due stazioni, comunque distanti, ad esempio Parigi e Odessa, a che neanco basterebbe un numero comunque grande di pile; meno per la resistenza del circuito, che per le derivazioni cagionate dal non mai perfetto isolamento. Si stabiliscono dunque in

certi punti intermedii de'*rilievi di linea*, o *traslatori*, che ricevono la corrente da un lato della linea, e fan comunicare l'altro lato col polo della pila.

157. **Parafulmine**. Ne'forti temporali i conduttori delle linee telegrafiche si caricano talvolta di elettrico a segno che le scariche nell' interno delle stazioni sono dannose agl' istrumenti, pericolose per gl' impiegati. Ad allontanare questi rischi si usano i *parafulmini*, i quali agiscono per la virtù dell' elettricità statica di fondere i fili metallici, e di scaricarsi in distanza per le punte a differenza dell'elettricità in corrente.

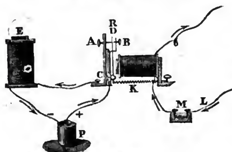


Fig. 199.

Uno de'più semplici è quello espresso dalla fig. 200. Sulla tavoletta PP' son fissate due lamine metalliche CC' a'due lati della lamina P: quelle comunicano co' capi del filo di linea, questa col suolo, nel quale per le punte si scarica l'eccesso dell'elettrico. Inoltre al di sotto delle due lamine laterali v'è un piccol cilindro (fig. 201) composto di tre porzioni metalliche M, M'M'', separate da due anelli di avorio I, I'. Un filo sottilissimo di ferro coverto di seta si avvolge attorno al cilindro, ed unisce l'estremo M che comunica col filo di linea all'estremo M'' che va al segnalatore. Se dunque la corrente residua è ancora troppo forte, brucia la seta del filo, e per la porzione metallica M'' si versa nel suolo.

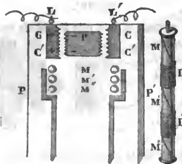


Fig. 200. Fig. 201.

158. **Stazione telegrafica**. In una stazione telegrafica completa oltre gli ordigni che abbiam descritti, se ne richieggono pure degli altri. Come sien disposti viene indicato dalla fig. 202.

Da un lato della pila v'è il *regolatore*, dall'altro *l'inversore* o *com-*

mutatore. Il *regolatore* è un disco di legno con quattro bottoni metallici; tre alla circonferenza, comunicanti con diverso numero di pile; uno al centro, il quale mediante una striscia di rame può toccare qualunque d'essi. Con ciò si regola la forza della corrente, sapendosi che nei tempi umidi v'è bisogno sinanco di un numero doppio di pile.

L' *inversore* poi è destinato ad invertire la corrente sulla linea e mettere in azione i *comunicatori* delle stazioni intermedie a quelle, alle quali fu chiesta una comunicazione diretta.

Segue il *manipolatore*, al quale da un lato e dall'altro è annessa una *soneria* o arnese d'allarme per le due stazioni contigue.

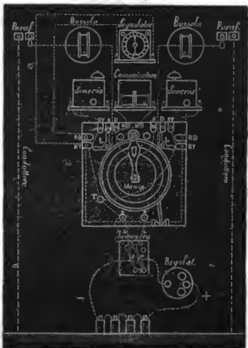


Fig. 202.

Allo scattar d'una molla attratta da una elettro-calamita il campanello chiama l' impiegato a cominciare la corrispondenza.

Tra le due sonerie v'è il *comunicatore*, cioè un'altra soneria, che serve ad avvertire le stazioni intermedie esser finita la corrispondenza diretta con le lontane.

Col manipolatore altresì comunicano il *segnalatore*, e due *bussole*. Dicesi *bussola* un vero moltiplicatore destinato a misurare la intensità della corrente. Si vede a parte nella fig. 203. Alle viti P, P finiscono gli estremi del filo, che si avvolge intorno al telarino CC. Coll' ago calamitato AA è congiunto ad angolo retto un ago di rame BB, che scorrendo lungo la scala *ff* serve da indice.

I *parafulmini*, che debbono difendere tutte le macchine, son situati dopo le bussole presso le pile della stazione.

159. Telegrafi elettrici sotto-marini. Una corrispondenza immediata tra due stazioni separate da lunghi tratti di mare è l'ultimo passo della telegrafia elettrica. Wheatstone, che fu il Watt di tutto ciò che la riguarda, ne ebbe il pensiere nel 1837. La proposta di Brett al governo inglese di congiungere Holyhead e Dublino fu rigettata: ma ei fu meglio avventurato presso il governo francese, e 'l primo filo sotto-marino si gettava il 29 agosto 1850 fra Douvres e 'l capo Grinez. Era esso un filo di rame coverto di guttaperca; ma perchè non atto a resistere a trazione maggiore di 100 chil. si spezzò dopo pochi giorni, e l'anno dopo fu sostituito da altro più solido.



Fig. 203.

Le fig. 204, 205 mostrano il rilievo e la sezione trasversale d'una

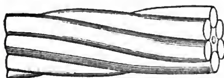

Fig. 204.


Fig. 205.

corda sotto-marina. Nell'interno v'è uno o più fili di rame coverti di gutta-perca: poi un rivestimento di stoppa catramata, e finalmente un certo numero di fili di ferro avvolti a spira; è pesante abbastanza per toccare il fondo da se.

Il numero de' canapi sotto-marini è cresciuto prodigiosamente sino all'ardita idea di congiungere il vecchio al nuovo mondo non pure attraverso l'atlantico, ma anche per le Indie e l'Oceanica.

IV. APPLICAZIONI ELETTRO-TERAPEUTICHE.

160. Macchine elettro-terapeutiche. Rilevasi da Scribonio Largo che gli antichi prescrivevano il contatto della torpedine per curare sovrattutto il dolore di testa. Usavano dunque l'elettrico per rimedio anche pria di conoscerlo. Inventata poi la

macchina elettrica, e scoverti gli altri effetti della elettricità di strofinio, si costrnirono delle macchine a tale uopo, e si adoperò il bagno elettrico, la scintilla, la frizione, la scossa. Ma, dobbiam confessarlo, con poco o ninn successo.

Non fn così dopo la scoverta della pila, e delle proprietà delle correnti. Galvani stesso il primo se ne valse, e poi valenti fisici e fisiologi d'ogni tempo, massime a'giorni nostri. Si preferiva l'apparato a corona di tazze. Fnrono quindi imaginate molte *macchine elettro-terapeutiche*, specialmente a corrente indotta o dalle correnti o dalle calamite, tra le qnali la prima è dovnta all'italiano Rognetta; e sono celebratissime quelle di Breton, Dnchenne, Ruhmkorff. Queste non sono che modificazioni di quelle altrove descritte, e in vederle in atto di leggieri s'intendono.

Catena galvanica di Pulvermacher. Qnesto piccolo arnese (fig. 206) si raccomanda per semplicità ed efficacia, stando al severo ed imparziale e competente giudizio di Moigno e Du Moncel. È una vera pila analoga a quella di Volta: La fig. 207 ne mostra due

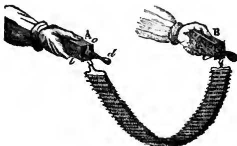


Fig. 206.

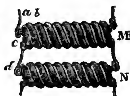


Fig. 207.

elementi. Ciascun di questi, per esempio M, o N, è nn cilindretto di legno, intorno cui incastrati si avvolgono ad elica senza toccarsi un filo o un nastro di rame e nno di zinco: lo zinco, *a*, *b* del cilindro M si conginnge pe' suoi estremi al rame del cilindro N per mezzo di un gancetto di rame *cd;* lo zinco del cilindro N si unisce del pari al rame del terzo cilindro e così di seguito.

Per caricare la catena basta immergerla in aceto dilnito: i cilindretti di legno se ne imbevono, ed essa resta in azione lnngamente. Gli effetti dipendono dal nnmero e dimensione degli elementi.

Se à 24 elementi, agisce sull'elettroscopio di Bonhemberger, se 30 o 40 scompone l'acqua, se 150 lancia scintille; se oltre 120 elementi e si stringono i due manubrii a circuito chiuso, svolge tanto calore da cauterizzare la pelle, e quando s'interrompe cagiona scosse potenti. Per interrompere il circuito, nel manubrio A v'è un meccanismo di orologeria, che si carica mediante la chiave *d*, e stabilisce o interrompe il contatto tra l'estremo della pila e la parete interna *i*. Le alternative dipendono dal regolatore *o*.

Avvertenze speciali. I più sperimentati nell'uso dell'elettro-terapia convengono in dare i precetti seguenti. Se vuolsene profitto, si deve scegliere la corrente meglio adatta ne' singoli casi; sia sempre debole sulle prime, non molto protratta ogni applicazione, nè si abbandoni la cura dopo pochi giorni. Diamne qualche esempio.

Se una *paralisi* non è sostenuta da lesioni o stimoli esterni, possiam ritenere che avvenga per un' alterazione analoga a quella, che cagiona in un nervo il passaggio della corrente continua; or si ridona al nervo la eccitabilità con una corrente inversa alla prima. Laonde nelle *paralisi di moto* si usa la corrente inversa, in quelle *di senso* la diretta: nelle paralisi complete convien cercare quale funzione fu prima ad alterarsi.

Nelle *amaurosi*, nelle *afonie*, nella *sordità* per paralisi del nervo acustico è indubitato il vantaggio dell'uso della corrente. Ricorderò sempre con compiacimento la guarigione per mia cura della moglie del signor Capitano Basile addetto all' opificio di Petrarsa da tre anni amaurotica; la quale poi non più da me assistita infermò di nuovo per una corrente troppo intensa.

Nel *tic doloroso* si usa la corrente continua applicando l'elettrodo positivo alle diramazioni del nervo e 'l negativo al suo tronco.

Per gli *aneurismi* è utile *l'ago-puntura*, facendo passare per due punte di platino nel sacco aneurismatico la corrente continua, che coagulando l'albumina vi cagiona un grumo di sangue.

Matteucci à usato con vantaggio la corrente continua in un caso di *tetano*, fondandosi sul fatto, che la corrente discontinua cagiona in un animale le convulsioni tetaniche, e per l'opposto la paralisi tien dietro alla corrente continua.

Sperare poi di guarire ogni maniera d'infermità con la corrente è una stravaganza che non merita confutazione.

Non voglio lasciar dimenticata la *galvano-caustica*, o la cauterizzazione con un filo di platino arroventato dalla corrente, usata la prima volta da Fabre-Palaprat.

LIBRO DECIMO

OTTICA

NOZIONI PRELIMINARI

161. Generalità sulla luce. La vista è il senso che ci mette in relazione con un maggior numero di oggetti a un tempo, e più da noi distanti. La *luce* è il legame tra gli oggetti esterni e l'occhio: è la condizione per cui si rendono visibili, o altrimenti la cagione che eccitando la retina determina la visione. *Ottica* è quella parte della Fisica che studia le proprietà e gli effetti della luce.

Corpi luminosi ed oscuri. V'à de'corpi che mandano luce propria, e diconsi *corpi luminosi*, o *sorgenti di luce;* e distinguonsi in *sorgenti naturali*, come il sole e le stelle, ed *artificiali* come le fiamme. In generale tutt'i corpi riscaldati sin presso a 600° diventano luminosi. E vi sono de'corpi *oscuri*, cioè senza luce, i quali però si rendono visibili tramandando luce non propria; son tali i pianeti e la luna, non che tutt' i corpi sulla terra, che vediamo quando sono illuminati dal sole.

Corpi diafani, opachi, traslucidi. Si dicono *diafani* i corpi, che si lasciano traversare dalla luce, come l'aria, l'acqua, il cristallo di monte; *opachi* quelli che ne impediscono il passaggio, come i metalli, il carbone, le rocce: e *traslucidi* quelli, attraverso cui passa tanto scarsa luce, che non lasciano vedere distinta la forma d'un corpo di là, come la porcellana, il vetro spolito. Del resto i corpi opachi ridotti a lamine sottilissime diventano traslucidi.

Natura della luce. Tre sistemi furon proposti sulla natura della luce per coordinare insieme e spiegarne i fenomeni. I peripatetici dissero la luce essere un *atto* o una *qualità* propria de'corpi luminosi, passeggiera ne' corpi illuminati, che manca in un attimo al cessare l' azione di quelli; ma non si diedero la pena di applicare tale ipotesi alla spiegazione de'fatti. In epoca meno remota si opinò che la luce consistesse in particelle tenuissime lanciate per ogni verso da'corpi luminosi: questo è il *sistema dell'emissione* so-

stenuto da Newton. Finalmente i moderni ripongono la natura della luce nel moto vibratorio dell'etere, fluido imponderabile ed eminentemente elastico sparso da per tutto. Quest'ultimo sistema, detto *delle ondulazioni*, è il solo che regga alla spiegazione de' fenomeni, de' quali la scienza si è arricchita in questi ultimi tempi, come vedremo dopo averli esposti.

PROPAGAZIONE E INTENSITÀ DELLA LUCE.

162. **Propagazione rettilinea.** La luce allorchè traversa un mezzo omogeneo si propaga in linea retta. A persuadersene si dispongano sopra una lunga verga tre dischi opachi con un foro al centro: se i fori si corrispondono in linea retta si vedrà un oggetto sito dalla parte opposta; non più se quelli non coincidono. Similmente secondo l'asse d'un tubo cilindrico si vede una fiamma, non già se questo è piegato ad angolo risentito. Inoltre all'imposta di una stanza oscura si faccia un foro, e si vedrà il cammino rettilineo della luce, che illumina i corpicciuoli svolazzanti; se l'aria è agitata, cangiano di sito, ma cessano di essere visibili quando più non si trovano sulla traccia rettilinea percorsa dalla luce.

Raggio, pennello, fascio di luce. La retta, secondo cui la luce si propaga, si dice *raggio luminoso*. Adunque se supponiamo la sorgente di luce essere un punto nello spazio, poichè noi il vedremmo tutt'intorno, possiam considerarlo come il centro d' una sfera luminosa. In verità da ogni punto d' un corpo luminoso partono raggi divergenti, che àn forma di coni aventi a basi le superficie dei corpi che incontrano, e per vertici i punti di partenza: li diciamo *pennelli di luce*, e *fasci luminosi* molti pennelli riuniti.

163. **Ombra e penombra.** Chiamasi *ombra* lo spazio che rimane oscuro, per la frapposizione d'un corpo opaco, dal lato opposto della sorgente luminosa. Se la sorgente è un punto, immaginiamo che una retta indefinita passi costantemente per quello, e scorra in giro rasente l'orlo del corpo opaco. Questa retta di là dal corpo opaco separerà lo spazio illuminato dall' oscuro, ossia dall' *ombra*. Quest' ombra si chiama *geometrica* per distinguerla dall'ombra *fisica*, di cui sarà detto in trattare della *diffrazione*.

Nel caso che abbiam riferito il passaggio dalla luce all'ombra è brusco o immediato; ma così non succede, allorchè, come d' ordinario, la sorgente di luce à una certa estensione. E in vero sup-

poniamo per maggiore semplicità, che il corpo illuminante S L (fig. 208) e l' opaco MN sieno due sfere. Se concepiscasi che una retta indefinita ASMG si muova in giro tangente alle due sfere, e tagli costantemente in A la retta che ne unisce i centri, è chiaro

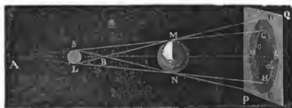


Fig. 208.

che essa genererà una superficie conica, di cui A è il vertice, e che limita di dietro alla sfera MN uno spazio interamente oscuro. S'imagini ora che una seconda retta SN tagli la linea dei centri in B, e descriva anch'essa la superficie conica interna tangente pure le due sfere. Allora tutto lo spazio all' esterno di questa seconda superficie conica sarà completamente illuminato; ma quello che trovasi oltre il corpo opaco tra le due superficie coniche non lo è che parzialmente, poichè riceve luce soltanto da alcuni punti del corpo luminoso: per questa ragione dicesi *penombra*. Laonde se dietro la sfera opaca dispongasi il diaframma PQ, lo spazio centrale G*chd* costituisce l'ombra, lo spazio annulare *ab* è la penombra; e tutt'intorno v'è piena luce.

Si comprende di leggieri per mezzo di ragionamenti geometrici, che la forma dell'ombra e la sua estensione dipendono dalla forma e dalle dimensioni de'due corpi illuminante e illuminato, non che dalla distanza scambievole.

164. **Raggi che passano pe' piccoli fori.** Se i raggi, che traversano un foro circoscritto dall'orlo di uno o più corpi opachi vicini, ricevonsi sopra un piano perpendicolare al raggio centrale, lo spazio illuminato sarà simile alla sezione del foro quando la sua apertura non è piccolissima, ed il piano gli è dappresso. Ma se l'apertura è molto piccola, o relativamente assai grande è la distanza a cui si raccolgono i raggi, lo spazio illuminato sarà simile al corpo illuminante. I raggi, che partono dai diversi punti di questo s' incrociano nel foro, e vanno ciascuno ad illuminare un punto corrispondente sul piano; e poichè v'è la medesima relazione di distanza e d' intensità di luce tra i diversi punti dello

spazio illuminato e del corpo luminoso, se ne otterrà la *imagine* capovolta o *simmetrica*. Così i raggi solari illuminano nella camera oscura uno spazio circolare che è la imagine del sole; e similmente quelli che vengono da una fiamma o da un qualunque altro oggetto esterno fortemente illuminato (fig. 209). Questa medesi-

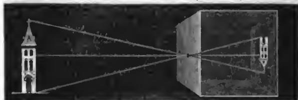


Fig. 209.

ma è la ragione dell' apparire circolari o ellittici gli spazietti sul suolo illuminati dai raggi solari, che passano pei vani tra le foglie degli alberi, secondo che quelli sono paralleli o obbliqui al suolo; e presentano poi forme svariate e somiglianti agl' intervalli che restano tra le foglie delle piante erbacee.

165. Velocità della luce. I peripatetici ritennero essere istantanea la propagazione della luce, e credettero averlo dimostrato con dire, che non le si oppone *forza di contrario* da distruggere; perchè le tenebre sono una mera negazione, e nulla contengono di positivo. Gli accademici di Fiorenza si erano sforzati di risolvere tale quistione, ma senza prò. Il fatto è che se fino a'nostri dì non avea potuto valutarsi il tempo impiegato dalla luce in percorrere le distanze terrestri, si era bene ottenuta questa misura da osservazioni astronomiche.

Misura di Roemer. Fin dal 1675 l'astronomo danese Olao Roemer dedusse la velocità della luce dalle ineguaglianze delle ecclissi del primo satellite di Giove. Sia G Giove (fig. 210), intorno al quale il primo satellite E si volge in 22h, 28', 56'': e rappresentino S il sole, e T, T' le due posizioni della terra in *congiunzione* e in *opposizione*. Or in passare la terra dalla congiunzione T alla opposizione T' v' è un ritardo crescente nella emersione del satellite dall'ombra, il cui valore massimo è di 16', 26''. Adunque in questo tempo la luce percorre il diametro TT' dell'orbita terrestre; e però vien dal sole alla terra in 8', 13'', percorrendo in 1'' tese 79572 di 4000 metri l'una.

Per farsi una idea di questa velocità si osservi, che una palla da cannone non impiegherebbe meno di dieci anni a percorrere un

tale spazio. Adunque poichè delle stelle fisse le più vicine alla terra non ne distano meno di 200000 volte il raggio dell' orbita terrestre, la luce per venir da esse a noi occupa più di tre anni: à bisogno poi di secoli per giungervi dalle più lontane. Laonde se si

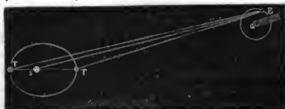


Fig. 210.

estinguessero d'un subito tante luci che splendono nel firmamente senza alterazione del nostro sistema, si continuerebbe ad assistere dalla terra per degli anni assai alla scena dell'universo come se nulla di nuovo fosse accaduto.

Sperienza di Fizeau. In questi ultimi anni Fizeau (1849) e Foucault (1850) sono giunti al medesimo risultamento con ingegnosi artifizii. Ci basterà indicare il metodo del primo sebbene supponga conoscenze che daremo in appresso.

S'immagini una ruota dentata girare con tale velocità intorno al suo asse che il tempo impiegato da un dente per passare al posto di quello, che immediatamente il precede , sia 0'',0001. In questa frazione di tempo la luce percorre quasi 8 leghe. Laonde se un raggio traversa il vano tra un dente e l' altro della ruota girante , e riflesso da uno specchio lontano ritorna indietro per la stessa via , è chiaro che secondo la velocità di rotazione della ruota potrà incontrare un dente o un vano , cioè arrestarsi o pervenire all'occhio dall'opposto lato.

Ciò premesso, Fizeau dispose due cannocchiali L, L' (fig. 211) a distanza di 8633 metri secondo lo stesso asse in modo, che con ciascuno di essi potesse vedersi nettamente l' oggettivo dell'altro. Il cannocchiale L à un tubo laterale con due lenti convergenti *b*, *c*, del medesimo fuoco *f*. I raggi d'una lampada F riflessi da uno specchio parabolico cadono paralleli sulla prima lente *c*; riunitisi in *f* divergono sulla seconda lente *b*, e ne emergono paralleli : incontrano poi la lastra G a facce parallele, inclinata per 45° all' asse del cannocchiale L, ne son riflessi secondo l' asse : quindi penetrano nell'oggettivo del cannocchiale L', riunisconsi nel suo

fuoco principale, donde riflessi dallo specchio piano M ritornano secondo l'asse comune, e formano nel cannocchiale L l'imagine della fiamma, che può esser veduta dall'occhio mediante l'oculare *a*. Finalmente il tubo del cannocchiale L à una fenditura trasversale, in cui penetrano fino all'asse dell'oggettivo i denti della ruota dentata R.

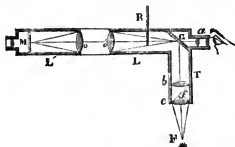


Fig. 211

Ora a norma della diversa velocità della ruota girante, talvolta si vedeva luce, tale altra un buio perfetto. Si ebbe la prima ecclissi nel volgersi la ruota con velocità di 12,6 giri al 1''. Questa avea 720 denti; la larghezza dunque d'ogni dente e d'ogni vano era di $\frac{1}{1440}$ della circonferenza, ed un vano passava allo spazio occupato dal dente vicino in una frazione di secondo espressa dall'unità divisa per 1440×12,6, ossia $\frac{1}{18144}$ di 1''. Laonde in questo tempo la luce percorse due volte la distanza fra i due cannocchiali, cioè 2×8633^{m}; il che riducesi ad una velocità di 78321 leghe al 1''. Ripetendo 28 volte l'esperienza Fizeau ebbe un risultamento che differisce appena $^{1}/_{41}$ dalla velocità ottenuta con le osservazioni astronomiche.

166. **Intensità della luce.** Dicesi *intensità di luce* quella quantità che se ne riceve dalla unità di superficie del corpo illuminato. Laonde la sua espressione si à dividendo la quantità di luce, che cade sopra una data superficie, per la estensione di questa.

La intensità della luce è retta dalle seguenti leggi:

1ª. *A pari circostanze è proporzionale all'ampiezza della superficie raggiante.*

2ª. *Segue la ragione inversa de' quadrati delle distanze tra la sorgente e la superficie illuminata.*

3ª. *È proporzionale al seno dell'angolo, che fanno i raggi con la superficie illuminante e con la superficie illuminata.*

La prima legge è abbastanza evidente per se medesima.

La seconda è una conseguenza della propagazione rettilinea e divergente de' raggi luminosi. Infatti sia un punto la sorgente, donde parte un cono di raggi luminosi, per esempio un foro nell' imposta di una camera oscura, o il foco d'una *lente convergente*: il diaframma illuminato sia la base di questo cono, che si porta a distanze successivamente maggiori: è chiaro che rimanendo sempre lo stesso il numero de'raggi, la intensità della luce sarà tanto minore quanto più ampia è la base; e, poichè questa è proporzionale al quadrato dell'altezza, ossia della distanza, la intensità sarà nella ragione inversa del quadrato della distanza. Il fatto conferma la verità del ragionamento. Sieno l'una accanto all'altra due lastre di vetro: se voglionsi illuminate ugualmente ponendo la fiamma che illumina la prima a distanza doppia di quella che illumina la seconda, conviene che quella sia composta di quattro fiamme pari alla seconda; e dovrebbe uguagliarne nove, se fosse a distanza tripla.

Non occorre osservare che questa legge più non si avvera se i raggi propagansi paralleli; e inoltre che non teniam conto dell'assorbimento in un mezzo imperfettamente diafano.

La terza legge in quanto alla superficie raggiante può intendersi a questo modo. Una sfera luminosa lontana sembra un disco, ed un cilindro vedesi come un parallelogrammo; ossia è la stessa la intensità della luce che viene all'occhio da sezioni uguali de' fasci luminosi, che corrispondono al centro ed agli orli del corpo illuminante. Ma quelle sezioni comprendono raggi, che provengono da superficie tanto più estese, quanto esse più si accostano all'orlo, ossia quanto è maggiore la inclinazione, o più piccolo il seno; adunque la intensità è proporzionata a questo seno.

Che poi la intensità segua del pari la ragione del seno dell' angolo che fanno i raggi con la superficie illuminata, si verifica mediante i mezzi *fotometrici*, e s'intende, poichè sarà dimostrato che la quantità di luce ripercossa è nella medesima ragione.

167. Fotometria. *I fotometri* (*) sono destinati a misurare la intensità relativa di due sorgenti luminose. Ne sono stati ideati parecchi; ma bisogna convenire che quanto sensibili *fotoscopii* sono gli occhi, altrettanto sono imperfetti tutti i fotometri che abbiamo. I seguenti sono fondati sulla legge delle distanze.

1.° *Fotometro di Ritchie.* Componesi d'una scattola rettangola-

(*) Dal greco φῶς luce.

re ABCD (fig. 212) aperta a' due estremi ed annerita internamente. Nel suo mezzo son fissati due specchi FO, FM, tagliati da una stessa lastra perchè abbiano uguale virtù riflettente, inclinati di 45° all'asse della scattola: nell'alto v'è una fenditura longitudinale EG ricoverta di carta traslucida, o d'una lastra spolita.

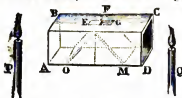


Fig. 212.

Le due sorgenti di luce P, Q, van collocate di rincontro alle estremità aperte dell'istrumento nella direzione dell'asse, e a tale distanza da quelle, che i raggi riflessi dagli specchi illuminino ugualmente le due metà della lastra EF,FG. Quando ciò succede i poteri illuminanti delle sorgenti sono nella ragione dei quadrati delle distanze fra queste ed il mezzo del fotometro.

2.° *Fotometro di Rumford*. Consiste in una lastra di vetro spolito (fig. 213), innanzi a cui ad uguale distanza son disposte due

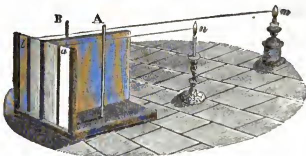


Fig. 213.

verghe opache A, B: un diaframma le divide così, che illuminate separatamente dalle due sorgenti di luce *m*, *n*, proiettino le loro ombre *a*, *b* sulla lastra. Si scosta la sorgente più intensa *m*, finchè le ombre abbiano una medesima intensità. In questo caso la forza illuminante delle lampade è come i quadrati delle distanze.

Può anche esporsi una sola verga opaca A (fig. 214) alle due sorgenti di luce M. N, le quali portate a distanza ineguale proiettano due ombre *m*, *n*, della stessa intensità.

3.° *Fotometro di Wheatstone*. Wheatstone à ideato il fotometro

più esatto forse, e certamente più comodo di tutti (fig. 215). Componesi d'una scattola cilindrica contenente nn sistema d' ingranagio, mediante il quale una manovella A fa rotare la seconda

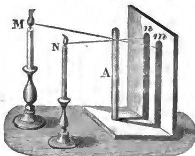


Fig. 214.



Fig. 215.

manovella *a*. All'estremo di questa trovasi un asse con un rocchetto *o*, i cui denti s'incastrano con quelli d'nna rnota fissa all'orlo della scattola; per che al girar della manovella A il rocchetto acqnista un doppio moto di rotazione intorno a se medesimo e intorno l'orlo della scattola. Sul rocchetto con disco di sughero ed una punta è fissata una pallina di acciaio brnnito P o di vetro argentato, nella quale si riflettono le imagini delle dne luci da paragonare come due pnnti brillanti. Ma quandò la pallina si volge, essi generano due curve rappresentate dalla fig. 216. Si scostano poi differentemente le sorgenti luminose finchè le due curve acquistino la medesima chiarezza di luce, e da ultimo si misurano al solito le distanze.


Fig. 216.

Misure fotometriche. Per saggio de'risnltamenti ottenuti co' diversi fotometri ci basti sapere che la lnce del Sole è a quella della luna come 800000 a uno. Una lampada ad Argand è nove volte più intensa d'una candela senza tubo. Dicasi 100 la lnce d'una candela ordinaria appena accesa; dopo 11' riducesi a 39, dopo mezz'ora a 16: e ritorna qual'era se recidesi lo stoppino.

CATOTTRICA O RIFLESSIONE DELLA LUCE.

168. **Luce riflessa e luce diffusa.** I raggi di luce come qnelli di calore nell' incontrare la superficie d'un secondo mezzo

deviano dalla direzione rettilinea: se tornano indietro, possono essere *riflessi* o *diffusi:* se penetrano, vi sono *assorbiti* o *rifratti.*

E in prima cada obbliquamente in una camera oscura sopra uno *specchio*, val quanto dire una superficie levigata, per esempio una lastra di acciaio, o una massa di mercurio, un fascio di luce solare. Si osserverà un doppio fenomeno: una porzione del fascio *incidente si riflette*, ossia rimbalza dallo specchio secondo una direzione determinata, come se partisse dal punto stesso d'incidenza; e raccolti i raggi riflessi sopra una lastra spolita vi produrranno l'immagine del sole. Una seconda porzione *si diffonde*, ossia vien riflessa irregolarmente cioè in tutte le direzioni: e infatti da qualunque punto della stanza si vede il punto d'incidenza.

169. **Leggi della riflessione.** La riflessione propriamente detta, o *specolare*, è retta dalle seguenti leggi:

1.ª *L'angolo d'incidenza è uguale all' angolo di riflessione.*

Diconsi angoli d'incidenza e di riflessione quelli, che i raggi incidente e riflesso contengono con la normale alla superficie riflettente nel punto d'incidenza.

2.ª *Il raggio incidente, il riflesso, e la normale alla superficie riflettente nel punto d'incidenza si trovano in uno stesso piano, che dicesi piano di riflessione.*

Entrambe si dimostrano determinando la posizione de' raggi incidente e riflesso e della normale nella camera oscura con un semicerchio graduato.

Con lo stesso mezzo si scovre che da una superficie curva la luce è riflessa come dal piano tangente a quella superficie nel punto d'incidenza. Laonde per costruire il raggio riflesso, si meni prima la perpendicolare al piano tangente ossia alla superficie curva nel punto d'incidenza, e poi si conduca una retta che faccia con la normale un angolo uguale all'angolo d'incidenza.

170. **Intensità della luce riflessa.** Eccone le leggi:

1.ª *È varia secondo la natura del corpo riflettente, e del mezzo.* Infatti i metalli superano gli altri corpi nella virtù di riflettere; e il vetro levigato la perde quasi interamente nell'acqua.

2.ª *Cresce col grado di levigatezza e di densità.* Carta, legno, marmi, metalli tanto meglio riflettono la luce, quanto più sono levigati; ed i metalli lavorati a martello o passati per laminatoio assai più de' fusi, perchè ne' primi la densità è maggiore.

3.ª *Cresce pure coll'angolo d' incidenza.* I corpi men riflettenti

sieno opachi, sieno diafani, riflettono assai bene i raggi, che fanno angolo abbastanza grande con la normale. Infatti secondo Bouguer di 1000 raggi incidenti il vetro e l'acqua riflettono quantità diverse in dipendenza degli angoli, come quì appresso:

Angoli	20°,	40°,	75°,	80°,	85°.
Vetro	25,	34,	299,	412.	549.
Acqua	18,	22,	211,	333,	501.

Se il corpo è opaco, quanto è minore la riflessione altrettanto cresce la diffusione tranne una porzione di luce che si estingue all'intutto, ossia rimane assorbita. Noi vediamo i corpi per la luce diffusa, e'l corpo illuminante per la luce riflessa; laonde sono quelli tanto meno visibili quanto meglio riflettono. Valga ad esempio una tela dipinta, che diciamo *non essere al suo lume* quando è così collocata da mandare all'occhio luce riflessa.

171. Specchi piani, e loro imagine. Gli *specchi* secondo la loro forma possono essere *piani, concavi,* e *convessi.* I raggi da essi riflessi fan vedere l'oggetto, ossia ne rendono l'*imagine,* la quale dicesi *reale* se veramente dopo la riflessione i raggi riuniti la dipingono, e *virtuale* se i raggi non si riuniscono colà, ma vengono all'occhio come se partissero dal sito ove l'imagine apparisce.

Sia A (fig. 217) un punto luminoso, dal quale partendo il raggio AB si riflette sullo specchio piano NM secondo BO, formando angoli uguali con la normale BD. Se l'occhio trovasi nella direzione di BO, riceverà il raggio riflesso come se partisse dal punto *a* prendendo B*a* nel prolungamento di OB uguale ad AB: dicasi il medesimo per qualunque altro raggio incidente AC: adunque l'occhio O vede in *a* l'imagine del punto A, la quale sarà virtuale. Si congiungano ora i punti A e *a*: ne verranno due triangoli uguali NBA, NB*a*, perchè il lato NB è comune, gli angoli in A e in *a* sono uguali per essere isoscele il triangolo AB*a*, ed uguali sono pure gli angoli NBA, NB*a*, perchè ciascuno uguaglia l'angolo OBM. Adunque si à NA=N*a*, e gli angoli in N sono retti, ossia A*a* è normale allo specchio.

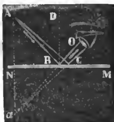


Fig. 217.

È agevole dopo ciò trovare la imagine *ab* d'un oggetto AB (fig. 218): basterà abbassare da tutti i suoi punti A, B.... le perpendicolari AD*a*, BC*b*,.. ; e prese le porzioni D*a*, C*b*,... uguali a AD, BC,...si congiungano tutt'i punti estremi di esse.

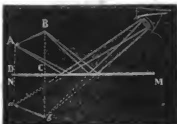


Fig. 218.

Dal quale ragionamento s'inferisce, che *in uno specchio piano la imagine è sempre virtuale, ed uguale e simmetrica all'oggetto*; appunto perchè la imagine d'ogni punto si trova dentro lo specchio nella perpendicolare abbassata sovr'esso e ad uguale distanza.

Di quì pure s'intende come, essendo fisso lo specchio, il moto della immagine debba pareggiare quello dell'oggetto : se poi l'oggetto è fisso e mobile lo specchio, il moto della imagine debbe essere doppio del moto dello specchio. Ciò si avvera così pel movimento di traslazione, come pel moto angolare, cioè di rotazione.

Sistema di specchi piani. Se un oggetto si trova tra due specchi piani paralleli, i raggi riflessi da ciascuno cadono sull'altro per esserne riflessi di nuovo; laonde si formerebbe un numero infinito d'imagini situate sulla perpendicolare comune a distanze sempre maggiori. Ma esse diventano per gradi più affievolite sino a rendersi invisibili tra per la luce diffusa, e per quella che viene estinta dalla materia degli specchi.

Se gli specchi sono inclinati, avvengono pure riflessioni successive, e 'l numero delle imagini dipende dall'angolo che quelli contengono. Sia retto l'angolo degli specchi, e si avranno tre imagini oltre l'oggetto veduto direttamente; saranno cinque, se l'angolo è di 60°; 7 se di 45°, e così di seguito.

Caleidoscopio. Su questa proprietà degli specchi inclinati è fondato il *caleidoscopio* ideato da Brewster; il quale componesi d'un tubo di cartone, di legno o di metallo in forma di cilindro o di cono tronco; in esso son fissati longitudinalmente o due specchi a 45°, o tre a 60°. Tra due vetri che sono da un lato, l'esterno de' quali è spolito, son messi alla rinfusa de'corpicciuoli di forma e colore diverso, come de'pezzetti di vetro, di merletto, di canutiglia: allora guardando dall'opposto lato contro una forte luce, le imagini molteplici e simmetriche di quei piccoli oggetti rendono

un'apparenza oltremodo piacevole, di cui si cangia ad ogni istante l'effetto girando il tubo intorno al suo asse.

Paolo A. de Luca à trasformato questo arnese di diletto in istrumento utilissimo alle arti, sovrattutto al disegno di decorazione.

Imagini multiple dagli specchi di cristallo. Gli specchi di cristallo ànno due superficie riflettenti: cioè la faccia anteriore della lastra, e la posteriore ossia la superficie dell'amalgama di stagno; producono perciò imagini molteplici. I raggi riflessi dalla superficie esterna danno una prima imagine assai sbiadita, perchè la maggior parte de'raggi incidenti penetra nel cristallo ed è riflessa dalla superficie metallica: questa seconda imagine è assai più viva e dalla prima dista quant'è il doppio della spessezza della lastra. Oltre queste due imagini, se ne forma poi una serie di altre sempre più deboli, le quali bene si osservano guardando in uno specchio assai obbliquamente la fiamma d'una candela; e ciò perchè la prima faccia della lastra non lascia mai sfuggire tutta la luce che le viene dalla seconda, ma gliene rinvia sempre una porzione.

Per questa ragione gli specchi ordinari torrebbero precisione ai dilicati strumenti di ottica, pe'quali si richiede una sola superficie riflettente. Si usa invece costruirli di vetro nero, di ossidiana, e ordinariamente di metallo.

172. Specchi sferici concavi e convessi. Gli specchi curvi ànno varii nomi secondo la loro curvatura: i più comunemente usati sono gli *sferici* e i *parabolici*. Imaginiamo una sfera vuota, la cui superficie interna sia levigatissima: se un piano ne stacca una calotta, questa rappresenterà uno *specchio sferico concavo*; se invece fosse levigata la superficie esterna, si avrebbe uno *specchio sferico convesso*.

Il centro C (fig. 219) della sfera, a cui appartiene la superficie MN, dicesi *centro di curvatura*, o *centro geometrico*; un qualunque raggio CM, CA, CN, *raggio di curvatura*; l'angolo MCN, che contengono i due raggi estremi, *ampiezza dello specchio*; il punto medio A *centro di figura:* chiamasi *asse principale* la retta indefinita ACL, che passa pe'due centri di figura e di curvatura: e qualunque altra retta che passa pel centro C e non pel punto A, *asse secondario*. Da ultimo la sezione dello specchio MN data da un piano, che passa per l'asse principale LA, dicesi *sezione media*.

173. Fuochi negli specchi sferici concavi. Seguiamo nel loro camino i raggi, che cadono sullo specchio concavo MN.

Fuoco principale. Sieno in prima i raggi incidenti paralleli all'asse principale LA, come può assumersi, allorchè il punto luminoso trovasi a distanza assai grande dallo specchio. Tutti essi convengono dopo la riflessione in un punto dell' asse stesso, che dicesi *fuoco principale*. Infatti, poichè l'angolo, che un raggio incidente GD contiene col raggio di curvatura CD, rappresenta l' angolo d' incidenza, bisognerà per avere la direzione del raggio riflesso tirare DF in modo, che l'angolo CDF sia uguale all'angolo CDG. Epperò il triangolo CDF emergerà isoscele, per essere anche uguali gli angoli DCF, e CDG, perchè alterni-interni delle parallele LA, GD. Sarà dunque FC=FD. E poichè supponendo GD prossima ad LA, può assumersi FD=FA, avremo anche FC=FA. Or se l'ampiezza dello specchio MN non supera 8 a 10 gradi, il medesimo ragionamento vale altresì per qualunque altro raggio HB parallelo ad LA: inoltre un raggio che cade secondo l'asse si riflette sopra se medesimo. Adunque *tutt' i raggi paralleli all' asse convengono nel fuoco principale F, la cui distanza dalla superficie dello specchio è la metà del raggio di curvatura.*

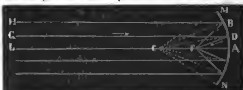


Fig. 219.

L'istesso teorema à luogo pe'raggi paralleli ad un asse secondario, per esempio a CD, in tanto che riflettendosi essi pure s'incontrano in un punto dell'istesso asse secondario equidistante dal centro C e dallo specchio, e chiamasi *fuoco secondario*. Ciò va inteso altresì ne'due casi che seguono.

Di quì s'inferisce che se nel fuoco principale F si colloca il punto luminoso, i raggi cadranno divergenti sullo specchio, e poi ne saranno riflessi paralleli; ossia si scambiano le direzioni de' raggi incidenti e riflessi; e ciò per la uguaglianza degli angoli d'incidenza e di riflessione.

Fuochi coniugati. Se il punto luminoso non trovasi a tale distanza da potersi considerare i raggi come paralleli, essi cadranno divergenti sullo specchio: conterranno con la normale angolo minore; laonde per la uguaglianza degli angoli d'incidenza e di riflessione si uniranno pure in un punto, ma la distanza focale sarà maggiore che la metà del raggio di curvatura. Ove il punto luminoso

si avvicini al centro di curvatura, vi si avvicina dall'altro lato anche il fuoco, sino a confondervisi entrambi. Le relazioni tra il punto luminoso e il fuoco son tali, che se il punto luminoso si trasferisse nel fuoco, i raggi riflessi prenderebbero il camino de'raggi incidenti, e' l fuoco prenderebbe la primitiva posizione del punto luminoso. Per tale reciprocanza questi due punti si chiamano *fuochi coniugati*.

Fuoco virtuale. Se finalmente il punto luminoso è tra il fuoco principale e lo specchio, dalla sola ispezione della fig. 219 si rileva essere gli angoli d'incidenza maggiori che se fosse nel fuoco principale; laonde i raggi riflessi saranno divergenti, e' l fuoco *virtuale*. Il punto luminoso, e'l fuoco si accosteranno del pari alla superficie dello specchio, e similmente se ne scosteranno (*).

174. **Imagini negli specchi concavi.** Dalle cose dette è agevole dedurre come si formi la imagine negli specchi sferici concavi, allorchè l'oggetto non è un punto luminoso, ma à una certa estensione. Sia per esempio una candela AB (fig. 220) sita di là dal centro C. Si troverà in prima il fuoco coniugato *a* del pun-

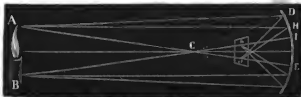


Fig. 220.

to A, cioè l'incontro dell'asse secondario AE con qualunque de' raggi riflessi D*a*, H*a*; quindi si determina il fuoco *b* del punto B, e così per tutti gli altri punti dell'oggetto AB. Dalla quale costruzione rilevasi, che *la imagine ab è pure tra il centro, e'l fuoco principale: reale, simmetrica all'oggetto e di esso più piccola.* Vicendevolmente se l'oggetto fosse in *ab*, la imagine sarebbe AB. In ambo i casi può vedersi la imagine in due modi: o collocando l'occhio

(*) Se dicasi r il raggio di curvatura dello specchio, d la distanza del punto luminoso, f la distanza focale, allorchè l'apertura dello specchio è piccola, fra le quantità r, d, f à luogo la equazione

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r};$$

dalla cui discussione è agevole dedurre tutte le conseguenze sopra esposte.

nel prolungamento de'raggi riflessi, ed apparisce librata in aria ; o ricevendola sopra una lastra spolita, ed è visibile da tutt'i lati.

Di un oggetto collocato nel fuoco principale non può esservi imagine, perchè i raggi riflettonsi paralleli. Ma se l'oggetto si accosta anche più allo specchio, poichè i raggi riflettonsi divergenti, si comprende che l'imagine ne dev'essere sempre *virtuale, dritta, e più grande dell'oggetto.*

175. Fuochi ed imagini negli specchi sferici convessi. Se lo specchio è convesso, i raggi paralleli ànno ugualmente un fuoco principale. Sia TK (fig. 221) un raggio parallelo all'asse BA, il quale si riflette in KH formando angoli uguali col prolungamento del raggio CK. Il raggio riflesso KH si propaga come se partisse dal punto F, che divide a metà il raggio CA per essere FC = FK = FA. Dicasi altrettanto per tutti gli altri raggi paralleli all'asse SI, S'E.., i quali riflettonsi divergenti, e prolungati s' incontrano in F. Adunque anche *gli specchi convessi ànno un fuoco principale equidistante dal centro di curvatura e dallo specchio, il quale però è sempre virtuale.*

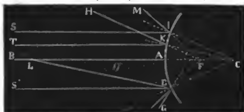


Fig. 221.

È agevole altresì rinvenire il fuoco de' raggi che cadono altrimenti. Se partono ad esempio da un punto L nell'asse, cadranno divergenti sullo specchio, ed avranno il fuoco in *l* tra lo specchio ed il fuoco principale F.

Nè fa bisogno d'altro per intendere che negli specchi sferici, comunque collocato l'oggetto, la imagine è mai sempre *virtuale, diritta,* e *minore dell'oggetto* (*).

176. Determinazione del raggio di curvatura. Occorre sovente definire il raggio di curvatura d' uno specchio sfe-

(*) Per gli specchi convessi ritenendo gli stessi simboli che nei concavi, avrà luogo la medesima formola ; solamente per esprimere che il centro di curvatura ed il fuoco sono dall' istessa parte, e l' oggetto dalla parte opposto, si prende *d* negativa; avremo dunque

$$\frac{1}{f}-\frac{1}{d}=\frac{2}{r}.$$

rico. Or questa ricerca riducesi a quella del fuoco principale. Infatti

1.° Sia concavo lo specchio. Facciansi cadere sovr'esso i raggi solari parallelamente all'asse principale, e ricevendone i raggi riflessi sopra un picciol diaframma di vetro spolito, si cerchi il luogo dove l'imagine è più piccola e più netta: colà è il fuoco principale. E quindi il doppio della distanza tra questo punto e lo specchio sarà il raggio di curvatura.

2.° Se lo specchio è convesso, ricovrasi d'un foglio di carta, in cui si lascino due piccole luci equidistanti dal centro di figura. Si facciano cadere sullo specchio i raggi solari parallelamente all'asse, e ricevansi i raggi riflessi dai due punti non coverti dello specchio sopra un diaframma, al cui mezzo si è lasciato un vano circolare per non intercettare il camino ai raggi incidenti. Si scosti il diaframma sinchè la distanza tra i due punti illuminati sia doppia di quella, che v'è tra i due punti riflettenti. In questo caso la distanza del diaframma dallo specchio pareggia la distanza focale: il cui doppio sarà il raggio di curvatura.

177. **Aberrazione di sfericità**. Se l' apertura dello specchio supera gli 8 o 10 gradi, i raggi riflessi non convengono in un punto solo. Questa è la cagione per cui le imagini mancano di nettezza, il quale difetto chiamasi *aberrazione di sfericità*.

Catacaustica. I raggi riflessi da una superficie sferica mutuamente si tagliano : il *luogo* de'punti d'intersezione costituisce una superficie luminosa, che à nome di *catacaustica,caustica per riflessione*. Per esempio la linea splendente , che si osserva nel fondo d' una tazza illuminata dal sole o da una fiamma , è una sezione della caustica. Ugualmente se una lastra metallica ben forbita si pieghi a cilindro, e poggiatala sur un cartone bianco si espone questo ai raggi solari in guisa da tagliarli quasi per traverso, si vedranno sul cartone due curve lucide che sono appunto le caustiche.

Specchi parabolici. Dicesi *parabolico* uno specchio , la cui superficie nasce dalla rotazione d'un arco di parabola intorno l'asse. Se è concavo, tutt' i raggi incidenti paralleli all'asse convengono dopo la riflessione nel fuoco, o altrimenti la caustica riducesi ad un punto solo ; e ciò per la nota proprietà della parabola, che il raggio vettore ed un raggio parallelo all' asse contengono angoli uguali con la tangente alla curva nel punto d'incidenza. Di quì il doppio uso degli specchi parabolici ; cioè 1.° per raccorre in un

punto solo calore e luce; 2.° per mandare a grande distanza i raggi che partono dal fuoco. Infatti un riflettore parabolico s'impiegava ne' *fari* pria che si trovasse altro modo assai più efficace che in seguito esporremo (189). Può anche comporsi un sistema di due specchi parabolici a fuoco comune; in questo si colloca la sorgente di luce, e si potranno mandare in due diverse direzioni raggi intensi, come quando trattisi ad esempio d'illuminare una scala.

178. **Anamorfosi.** Gli specchi cilindrici e conici rendono l'imagine deforme; poichè, a motivo della diversa loro curvatura secondo la direzione, non può esser la medesima la relazione di distanza tra i vari punti dell'oggetto ed i corrispondenti della imagine. Epperò chi si mira in uno specchio cilindrico convesso, di cui l' asse è parallelo all' asse della persona, vede la sua imagine trasversalmente accorciata; e la vede invece longitudinalmente schiacciata girando lo specchio di 90°. S'intende però che può comporsi un oggetto, le cui proporzioni sieno sfigurate inversamente all'azione dello specchio; e in questo caso, se l'occhio e lo specchio sono collocati debitamente, di quell' oggetto deforme si vedrà una imagine regolare, come nella fig. 222. A cotal genere di disegni si dà nome di *anamorfosi*.

Se sopra una carta si son segnate più circonferenze concentriche equidistanti divise in settori, e vi si poggia uno specchio conico, il cui asse corrisponda al centro comune di quelle, l'occhio vedrà tutte quelle linee deformi tranne se trovisi nell'asse del cono, e non mai equidistanti tra loro.



Fig. 222.

DIOTTRICA O RIFRAZIONE DELLA LUCE.

179. **Fenomeni e leggi della rifrazione.** Se un raggio di luce SO (fig. 223) passando da un mezzo in un altro incontra obbliquamente la superficie *mn*, che separa i due mezzi, devia dal camino rettilineo, si spezza, e penetra da quello in questo secondo OH, talora accostandosi alla normale AOB condotta alla superficie *mn* nel punto d' incidenza, talora scostandosene. Questo fe-

nomeno dicesi *rifrazione*, e'l raggio OH si chiama *raggio rifratto*: l'angolo SOA è *l'angolo d'incidenza*, l'angolo BOH è quello *di rifrazione*. Se l'angolo di rifrazione è più piccolo di quello d' incidenza, cioè se il raggio rifrangendosi si accosta alla normale, il secondo mezzo dicesi *più rifrangente* del primo, come accade quando un raggio dall' aria penetra nell' acqua o nel vetro : se l' angolo di rifrazione è più grande, il secondo mezzo sarà *meno rifrangente*.



Fig. 223.

Se un raggio cade perpendicolarmente sulla superficie di separazione de' due mezzi, prosegue nel suo cammino rettilineo senza rifrangersi; non però con la medesima velocità, poichè è dimostrato che questa è sempre maggiore nei mezzi più rifrangenti.

Leggi della rifrazione. Le scovrì l' olandese Snellius comecchè vengano attribuite a Cartesio; sono le seguenti :

1.ª *Il raggio incidente e' l raggio rifratto sono sempre in uno stesso piano normale alla superficie di separazione de' due mezzi.*

2.ª *Qualunque sia la incidenza, il seno dell' angolo d' incidenza sta al seno dell'angolo di rifrazione in una ragione costante, finchè i due mezzi restano i medesimi.*

È agevole dimostrarle mediante l'ordigno della fig. 224. Abbiasi un cerchio graduato disposto verticalmente e sorretto da un piede: nel suo mezzo v'è un vase semicilindrico di vetro pieno d' acqua il cui livello sia all' altezza del centro *o* di quello. Per l'orlo del cerchio sono scorrevoli due diaframmi, l' uno N con un foro nel centro, l'altro P di lastra spolita. Ciò posto, allorchè un raggio S penetrando nel foro di N o direttamente o dopo essere stato riflesso dallo specchio M, va a cadere sulla superficie dell'acqua, si rifrange; ma in passare di nuovo dall' acqua nell' aria, poichè incontra normalmente la superficie cilindrica, prosegue nel suo camino rettilineo. Adunque per le varie posizioni del diaframma N spostando il diaframma P sino a trovare il sito, nel quale sovr'esso si forma la imagine del foro di N, si determinerà la direzione del raggio rifratto.

La descrizione stessa dell' esperienza dimostra la prima legge; e la seconda è data dalle due verghe I, R, che sono scorrevoli lungo il diametro AD restando sempre orizzontali, e perciò rappresentano i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione.

Indice di rifrazione. La ragione costante tra i seni degli angoli d'incidenza e di rifrazione chiamasi *indice di rifrazione*; 4/3 è l'indice di rifrazione tra aria e acqua, o come suol dirsi semplicemente, indice di rifrazione dell' acqua, 3/2 quello del vetro; sebbene veramente allora solo dovesse prendersi in modo assoluto l'indice di rifrazione quando il raggio passasse dal vuoto in un mezzo diafano. S'intende poi da se che invertendosi i mezzi, si deve invertire anche l'indice; epperò gl' indici saranno 3/4 e 2/3 se il raggio di luce dall'acqua o dal vetro penetra nell'aria.

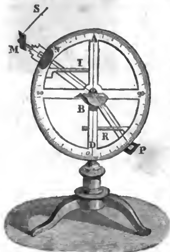


Fig. 224.

180. Conseguenze della rifrazione. Molti volgari fenomeni si spiegano mediante le leggi esposte. Infatti un corpo immerso in un liquido sembra più vicino alla superficie di livello, che non è veramente. Poichè i raggi, che entrano dal liquido nell'aria si scostano dalla perpendicolare, e però arrivano all' occhio non quelli che partono dall' oggetto direttamente verso di esso, ma quelli che andrebbero più in su e passando nell' aria si abbassano: l' occhio poi vede l'oggetto secondo l'ultima direzione de'raggi. Di qui è che men profondo sembra il mare; e un corpo metà nell'acqua, metà nell'aria, come un bastone diritto, apparisce spezzato. Pongasi un oggetto, ad esempio una moneta, in uno scodellino opaco, che sollevisi man mano finchè l' occhio più no 'l veda: versando acqua nello scodellino apparirà novellamente.

Sono dovuti pure alla rifrazione molti fenomeni luminosi che avvengono nell'atmosfera, come dirassi nella fisica terrestre.

181. Angolo limite, riflessione totale. Dicesi *angolo limite* quell'angolo d'incidenza, a cui risponde un angolo di rifrazione retto. E ragionevolmente: poichè vengano i raggi dall'acqua nell'aria, e sia SOB (fig. 225) l'angolo d'incidenza, a cui risponde l'angolo di rifrazione retto AOR. Ciò vuol dire che i raggi incidenti secondo SO rifrangendosi emergono paralleli alla superficie di separazione. Adunque l' angolo SOB è pure il più grande angolo

d'incidenza, pel quale è possibile una rifrazione, dovendo essere sempre l'angolo di rifrazione maggiore di quello d' incidenza, allorchè il raggio penetra in un mezzo men rifrangente.

Un qualunque altro pennello PO, che formi un angolo d'incidenza maggiore di SOB, quasi tutto si riflette internamente secondo OQ; d'onde al fenomeno il nome di *riflessione totale*. Così riempiendo d'acqua un vase di vetro (fig. 226), e collocando convene-



Fig. 225.



Fig. 226.

volmente l'oggetto A da un lato, l'occhio dal lato opposto il vede in *a* secondo il prolungamento del raggio, che riflettesi in *m*. Dal vetro nell' aria l'angolo limite è 41°, 49', dall' acqua nell' aria 48°, 35' (*).

182. **Prisma, camino de' raggi che lo traversano.** I raggi, che passano attraverso un mezzo a facce parallele, subiscono due opposte rifrazioni, ed emergono paralleli ai raggi incidenti. Cada infatti il raggio SA (fig. 227) sulla lastra di cristallo NM a facce piane e parallele: si rifrange secondo AD accostandosi alla normale GA; e poi ripassando nell'aria per l'altra faccia si rifrange secondo DB scostandosi ugualmente dalla normale ED: poichè sono invertiti gli stessi due mezzi. Si uguagliano cioè gli angoli i ed r', r ed i'; donde DB è parallela a SA. Di qui conseguita che un oggetto apparisce spostato, ma inalterate ne restano le dimensioni. Ben altrimenti succede attraverso un *prisma*.

Dicesi *prisma* in ottica un mezzo diafano terminato da facce

(*) È facile definire il valore dell'angolo limite. Sieno infatti i, r, gli angoli d'incidenza e di rifrazione, ed n l'indice di rifrazione dal mezzo men rifrangente al mezzo più rifrangente: avremo $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}=n$. Se dunque ponesi $i=90°$, sarà sen $r = 1/n$ il seno dell'angolo limite richiesto, da cui per mezzo delle tavole si trova agevolmente l'angolo stesso.

piane che s'incontrano, o prolungate s' incontrerebbero (fig. 228). In certi rari casi viene adoperato il prisma con una faccia curva. *Spigolo* è la retta, secondo cui le due facce s' incontrano, e l'angolo che esse comprendono dicesi *angolo rifrangente*. Chiamasi *sezione principale* quella, che si à da un piano perpendicolare allo spigolo. Non si considerano altri raggi di luce fuorchè quelli che traversano il prisma nel piano d'una sezione principale, e per l'ordinario il prisma è retto a basi triangolari. D'onde la sezione principale è sempre un triangolo, nel quale il vertice che corrisponde allo spigolo del prisma, e 'l lato opposto, sogliono dirsi *vertice* e *base del prisma*. Secondo poi che questo triangolo è rettangolo, isoscele, equilatero o scaleno, anche il prisma si chiama ugualmente. Esso suole comporsi di cristallo, o di quarzo, e talvolta di lastre di cristallo a facce parallele e riempiesi d' acqua : si arma sovra un piede di ottone così da potersi sollevare o abbassare, e mediante un ginocchio inclinare in tutti i sensi.

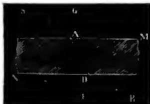


Fig. 227.



Fig. 228.

Ciò premesso, seguiamo il camino d'un raggio di luce OD (fig. 229) che cade obbliquamente sur una faccia del prisma, di cui ABC rappresenta la sezione principale: esso in prima rifrangesi secondo DK accostandosi alla normale ; poscia giunto alla seconda faccia AC rifrangesi di nuovo secondo KH scostandosi dalla normale. Effetto dunque del prisma si è di far *deviare il raggio dopo la seconda rifrazione dallo spigolo rifrangente*. Laonde l'occhio sito in H vedrà in O' il punto luminoso O. L'angolo OEH formato dal raggio incidente e dall'emergente dicesi *angolo di deviazione*, il quale dipende dall' angolo d' incidenza, dall'indice di rifrazione tra aria e vetro, e dall'angolo rifrangente del prisma.

Minimo di deviazione. Il calcolo dimostra e l'esperienza confer-

ma, che questa deviazione à un *valore minimo* allorchè l' angolo d'incidenza pareggia quello di emergenza. Per assicurarsi del fatto, sul camino d'un raggio di luce in una camera oscura frappongasi nn prisma con lo spigolo rifrangente verticale, e si misuri la deviazione che quello subisce per una determinata incidenza: poi si giri il prisma sempre pel medesimo verso così da far diminuire costantemente la incidenza, e si osserva che la deviazione in prima diventa minore per gradi, e poi cresce di nuovo: è minima allorchè si avvera la ipotesi indicata.

183. **Condizione di emergenza in un prisma.** Se l'angolo rifrangente A di un prisma ABC (fig. 230) non è minore del



Fig. 229.

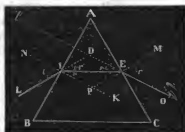


Fig. 230.

doppio dell'angolo limite, i raggi incidenti su d'una faccia AB non emergono dall'altra AC. Sia infatti LI un raggio incidente, che si rifrange secondo IE, ed emerge secondo EO; NP e MP sono le normali alle due facce. È chiaro che crescendo l'angolo d'incidenza NIL, cresce l' angolo di rifrazione EIP e diminuisce l'angolo IEP, il quale se non è minore dell'angolo limite, il raggio non emerge dalla faccia AC.

Essendo dunque l'angolo A doppio dell'angolo limite, cadano i raggi sotto il massimo angolo d'incidenza, che è la condizione più favorevole all'emergenza, sieno cioè paralleli a BI. L'angolo di rifrazione EIP pareggerà l'angolo limite, e similmente l'angolo IEP; essendo agevole dimostrare che debbono essere uguali gli angoli AIE ed AEI, e conseguentemente anche gli altri BIE, CEI. In questo caso dunque i raggi emergono appena paralleli a EC. Laonde per un qualunque altro angolo d'incidenza minore del retto non vi sarà emergenza.

L'apparecchio della fig. 231 ben si presta all'esperimento, va-

riando a piacere le condizioni. Esso consiste in una specie di vaschetta prismatica atta a contenere un liquido, e sorretta da un piede P a viti calanti r, r, r. Due facce di quella AB, CD, sono di metallo e fisse. Le altre due EF, GH, sono di cristallo a superficie parallele, e racchiuse in telai metallici formano cerniera in basso, nell' alto portano un indice i, che scorrendo lungo gli archi graduati AK o GB segna lo spostamento di ciascuna lastra dallo zero della divisione, e però l'angolo che esse contengono tra loro.

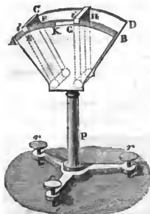


Fig. 231.

184. **Misura dell'indice di rifrazione.** Conoscendo l'angolo rifrangente, e 'l minimo angolo di deviazione, se ne può dedurre l'indice di rifrazione della sostanza, di cui il prisma si compone (*). Questo metodo è dovuto a Newton. Biot lo à applicato ai liquidi introducendoli in prismi di lastre di cristallo. Biot ed Arago finalmente lo ànno usato anche per gli aeriformi ingrandendo assai più l'angolo rifrangente. Ecco alcuni de'risultamenti ottenuti, supponendo che la luce venga dal vuoto.

Sostanze	Indici	Sostanze	Indici
Cromato di piombo	2,926	Acqua. . . .	1,336
Diamante . . .	2,470	Aria	1,000294
Flint	1,600	Ossigeno . . .	1,000272
Crown	1,533	Idrogeno . . .	1,000138
Alcole	1,374	Azoto. . . .	1,030300

Osservazioni. Chiaramente dunque si vede che gli aeriformi ànno un indice di rifrazione incomparabilmente minore di quello dei

(*) La formola per determinare l'indice di rifrazione n è la seguente:

$$n = \frac{sen\ \frac{1}{2}\,(a+b)}{sen\ \frac{1}{2}\,a}$$

designando con a l'angolo rifrangente, con b quello di deviazione minima.

Inoltre per considerazioni teoretiche, che non crediamo esporre, si è convenuto chiamare *potenza rifrattiva* d'una sostanza l'eccesso sull'unità del quadrato del suo indice di rifrazione, e *potere rifrangente* il quoziente della potenza rifrattiva per la densità.

solidi e de' liquidi. Esso aumenta con la densità. Inoltre da estese ricerche si è dedotto che in generale i corpi contenenti elementi combustibili, come carbonio, idrogeno, e simili, ànno più grande l'indice di rifrazione; donde Newton fu indotto a sospettare che il diamante contenesse carbonio.

L'indice di rifrazione de'gas composti è indipendente da quello de' gas componenti: avviene l'opposto pei semplici miscugli.

L'indice di rifrazione da una sostanza all'altra è il prodotto de' due indici di rifrazione dal vuoto a ciascuna d'esse.

Finalmente l'indice di rifrazione tra due sostanze uguaglia la relazione tra le velocità, con cui la luce si propaga in quelle. Foucault lo à dimostrato per l'indice tra acqua e aria.

LENTI: LORO FUOCHI ED IMAGINI

185. Lenti convergenti e divergenti. Chiamasi *lente* ogni corpo diafano, il quale perchè terminato da superficie curva, à virtù di rendere convergenti o divergenti i raggi che lo traversano. Le lenti sono comunemente di cristallo; ma si usano pure di quarzo, di rubino, di diamante, e talvolta di due lastre sottili piene di un liquido. Non s'impiega quasi mai altra curvatura fuorchè la sferica. Si distinguono le lenti dall'effetto che producono in due grandi categorie, cioè in lenti *convergenti* e *divergenti*.

Delle prime è tipo la lente *convesso-convessa* M (fig. 232), di cui ambe le superficie sono convesse: v'è pure la *piano-convessa* N con una superficie piana, l'altra convessa; e la *concavo-convessa* O, detta *menisco convergente*, di cui una superficie è concava, l'altra convessa, ma la prima è di minore curvatura che la seconda.

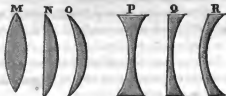


Fig. 232.

Tipo delle lenti divergenti è la *concavo-concava* P; vi sono inoltre la *piano-concava* Q, e la *convesso-concava* R, detta pure *menisco divergente*, di cui la superficie concava à maggiore curvatura della superficie convessa.

Per distingnere se una lente è convergente o divergente vale il seguente criterio: quelle del primo gruppo ànno una spessezza decrescente dal centro all'orlo; per quelle del secondo si avvera l'opposto. Di qui è anche agevole dedurre perchè le prime sono convergenti, e le seconde divergenti. Infatti le superficie curve, che terminano le lenti, possono considerarsi formate da un infinito numero di superficie piane piccolissime, le quali appartengono ad altrettanti prismetti elementari troncati componenti degli anelli concentrici, in cui si suppone divisa la lente. Tali prismi nelle lenti del primo gruppo rivolgono la base al centro, in quelle del secondo verso l'orlo. Epperò siccome i raggi che traversano un prisma debbono allontanarsi dallo spigolo rifrangente, le prime fan convergere i raggi verso l'asse, le seconde li deviano verso l'orlo.

Nelle lenti biconvesse, o biconcave e ne'menischi i centri e i raggi delle sfere, a cui le superficie curve appartengono, diconsi *centri* e *raggi di curvatura*; la retta che unisce i centri chiamasi *asse principale*. Nelle lenti ad una sola superficie sferica, l' asse principale è la perpendicolare abbassata dal centro di quella sulla superficie piana. Ogni lente deve essere perfettamente *centrata*, cioè simmetrica intorno l'asse.

Centro ottico dicesi quel punto nell'asse di una lente, pel quale se passa il raggio rifratto, il raggio incidente è parallelo all'emergente. Ciò succede perchè essendo simmetrica la lente intorno a quello, i due opposti elementi piani di superficie corrispondenti ai punti d'incidenza e d'emergenza sono paralleli, e però non può esservi deviazione angolare.

Ogni retta che passa pel centro ottico, e non pe'centri di curvatura, chiamasi *asse secondario*. Adunque poichè quando la lente à tenue spessezza può trascurarsi lo spostamento, che soffre il raggio emergente parallelo all'incidente, ne conseguita che ogni asse secondario rappresenta un raggio, il quale in traversare la lente conserva la sua prima direzione.

186. **Fuochi delle lenti convergenti.** *Fuoco* di una lente è il punto, in cui convengono i raggi dopo averla traversata, o da cui sembra che partono: nel primo caso dicesi *reale*, *virtuale* nel secondo. In quanto alle lenti convergenti ci basterà seguire il cammino de'raggi attraverso una lente biconvessa: sarà facile dedurne quel che riguarda le altre.

1.° Cada in prima un raggio LB (fig. 233) parallelo all'asse MN:

penetrando nella lente si rifrange accostandosi alla normale sulla superficie NB, ed uscendone per D si rifrange di nuovo scostandosi dalla normale CD sulla superficie AD; per che andrà ad incontrare l' asse in un punto F. Dicasi altrettanto di tutti gli altri raggi paralleli a LB e all'asse. Laonde *i raggi, che vengono paralleli all'asse sur una lente biconvessa, si riuniscono in un punto nell'asse che dicesi fuoco principale.* Ciò succede quando la sorgente di luce è assai discosta dalla lente, come sarebbe il sole, donde anche il nome di *fuoco solare.* Adunque per rinvenire tal punto si fan cadere i raggi solari sulla lente parallelamente all' asse, e poi si ricevono i raggi emergenti sur una lastra spolita; il fuoco principale sarà dove questi convengono. A vicenda, se il punto luminoso fosse nel fuoco principale d'una lente, i raggi cadrebbero divergenti sovr'essa, e uscirebbero dalla faccia opposta paralleli. Di qui l' uso delle lenti a somiglianza degli specchi concavi per mandare a grande distanza i raggi di luce, che partono da una sorgente collocata nel fuoco principale di quelle.

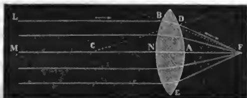


Fig. 233.

2.° Se poi il punto luminoso è a distanza finita e maggiore della focale, i raggi incidenti faranno con la normale un angolo più grande che se cadessero paralleli all'asse; e però, oltrepassata la lente, converranno in un punto più discosto dalla lente del fuoco principale. Quello, ch'è pure un fuoco reale, dicesi *fuoco coniugato*, perchè v' è reciprocanza tra la sua posizione e quella del punto luminoso, in tanto che a vicenda si scambiano.

3.° Finalmente il punto luminoso sia più dappresso alla lente che lo stesso fuoco principale. Poichè in questo caso i raggi incidenti fanno con la normale angoli maggiori de' raggi che partono dal fuoco principale, anche i raggi emergenti dovranno contenere con la normale angoli più grandi di quelli che contengono i raggi paralleli; emergono cioè divergenti, come se partissero da un punto dell' asse situato in quanto alla lente dall' istessa parte che il punto lucido; ossia il fuoco è *virtuale.*

Ciò che abbiam detto relativamente all'asse principale va esteso

del pari agli assi secondari allorchè la lente non à grande apertura, cioè quando questi contengono angolo piccolo coll'altro.

187. **Imagine delle lenti convergenti.** Se l'oggetto che si espone ad una lente à una certa estensione, ogni punto di quello avrà il suo fuoco: il sistema di tutti questi fuochi costituirà la *imagine* dell'oggetto, la quale sarà, ne'medesimi casi che il fuoco, reale o virtuale.

1. *Imagine reale.* Sia in prima l'oggetto AB (fig. 234) innanzi

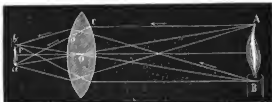


Fig. 234.

una lente biconvessa a distanza maggiore del fuoco principale. Per costruire la imagine, essendo O il centro ottico della lente, dai punti estremi A, B dell' oggetto si conducano gli assi secondari AO*a*, BO*b* : tutt'i raggi come AC che partono dal punto A rifrangendosi in C e in D converranno nel punto *a*, e similmente tutti quelli che partono da B converranno in *b*; fra *a* e *b* saranno i fuochi di tutti gli altri punti dell'oggetto; adunque *ab* ne sarà la imagine sempre reale e capovolta. Se l'oggetto è lontanissimo, la imagine sarà piccolissima e assai dappresso al fuoco principale F : accostandosi l'oggetto alla lente, l'imagine se ne scosta e s'ingrandisce; sarebbero pari di grandezza oggetto e imagine, se l'oggetto fosse distante dalla lente il doppio della distanza focale principale; e se quello pervenisse nel fuoco principale, la imagine sarebbe infinitamente grande e lontana per teoria, realmente nulla. La posizione e la grandezza dell'oggetto e dell'imagine sono così fra loro legate da scambiarsi a vicenda.

2. *Imagine virtuale.* Se l' oggetto è collocato a distanza minore del fuoco principale, i raggi emergono divergenti relativamente ai rispettivi assi secondari; e però gl'incontrano se vengono prolungati dall'istessa parte in cui si trova l'oggetto in riguardo alla lente, ed in punti che sono più discosti tra loro de'punti corrispondenti dell'oggetto. Laonde la imagine è virtuale, dritta e più gran-

de dell'oggetto. Quant'è maggiore la convessità della lente e la sua forza rifrattiva, e l'oggetto più vicino al fuoco principale, tanto è più forte l'ingrandimento.

188. **Fuochi ed imagini nelle lenti divergenti.** Le lenti divergenti non ànno mai altri fuochi che virtuali. Cadano in prima i raggi SI, S'K (fig. 235) parallelamente all'asse CC' d'una lente biconcava: essi rifrangonsi prima in I, K accostandosi alla normale, poi in G, M scostandosene, ma sempre ciascuno pel medesimo verso allontanandosi dall'asse, in modo che i raggi GH,MN emergono divergenti; le loro direzioni prolungate incontransi in F dall'istesso lato de'raggi incidenti: questo punto dunque è il *fuoco virtuale principale*.

Se i raggi partono da un punto L dell'asse (fig. 236), è agevole

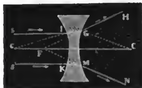


Fig. 235.

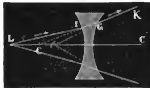


Fig. 236.

vedere che emergono eziandio divergenti ed ànno un fuoco virtuale, ma più vicino alla lente del fuoco principale.

Non occorre altro per intendere, che d'un oggetto AB (fig. 237) sito dovunque innanzi una lente divergente la imagine *ab* è mai sempre *virtuale*, *dritta* e *più piccola dell'oggetto*. Per costruirla si conducano al solito gli assi secondari AO, BO: ogni raggio AC, che parte dal punto A, si rifrange in C e in D, ed emerge secondo DE, la cui direzione va a incontrare in *a* l'asse secondario AO : similmente convengono in *b* i raggi emessi dal punto B.

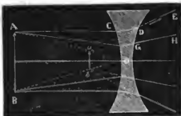


Fig. 237.

Determinazione del fuoco principale. Si covra una faccia della lente con uno strato opaco, ad esempio di nero fumo, lasciandone scoverti due soli elementi equidistanti dall'asse ed in uno stesso piano ad esso perpendicolare. Essi soli dunque faran passare i

raggi di luce solare che cadono sulla lente. Epperò ricevendo le due piccole imagini formate da'raggi paralleli all'asse sopra una lastra spolita, si scosti questa finchè la distanza tra le immagini riesca doppia della distanza fra gli elementi non anneriti: in tal caso la posizione della lastra sarà quella del fuoco principale (*).

189. **Aberrazione di sfericità, caustiche per rifrazione.** Allorchè l'ampiezza d'una lente oltrepassa i 10 o 12 gradi, succede un'*aberrazione di sfericità* analoga a quella degli specchi. E in vero nelle lenti di considerevole apertura i raggi, che cadono più verso l'orlo, fanno angoli d'incidenza maggiori gradatamente de'raggi centrali; laonde poichè la deviazione rapidamente aumenta coll'angolo d'incidenza, forza è che i raggi periferici abbiano il fuoco più dappresso alla lente che i raggi centrali. Le intersezioni de'raggi rifratti compongono nello spazio delle superficie brillanti, che diconsi *caustiche per rifrazione*.

Basti a saggio vedere l'aberrazione per le lenti biconvesse di crow-glass di varia apertura, che è come segue, esprimendo con la unità la distanza focale principale de'raggi centrali:

apertura	15°	22°	30°	45°
aberrazione	0,025	0,062	0,150	0,375.

È evidente che l'aberrazione di sfericità nuoce alla nettezza dell'imagine, poichè ogni punto dell'oggetto vi è rappresentato non già da un punto solo, ma da un cerchio di raggio tanto maggiore quanto l'aberrazione è più forte. Si suole perciò preporre alle lenti un diaframma con apertura al centro, la quale lasci passare i raggi centrali e trattenga i periferici. Con ciò la imagine se è ben terminata è men chiara. Del resto si toglie quel primo inconve-

(*) Il fuoco di una lente è funzione de' raggi di curvatura r, r' delle due superficie, della distanza d del punto luminoso, e dell'indice di rifrazione n. Or in una lente biconvessa la distanza focale solare è data dall' equazione

$$f = \frac{r\,r'}{(n-1)\,(r+r')};$$

la quale apparterrà alle lenti biconcave assumendo r ed r' negativi, alle concavo-convesse facendo r negativo, r' positivo, alle piano-convesse o pianoconcave ponendo $r = \infty$ ed r' positivo o negativo. Per qualunque altra distanza focale f' serve la formola più semplice.

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d}$$

niente senza incorrere nell'altro usando non una lente sola, ma un sistema di due lenti di conveniente curvatura.

190. **Lenti a gradinate, fari.** Anche in altro modo si corregge l'aberrazione di sfericità, e fu ideato da Buffon e impiegato da Fresnel nel 1822 pei *fari*. Si chiamano così i fuochi accesi di notte all' ingresso de'porti, o altrimenti sulle coste per guida dei naviganti; poichè presso gli antichi era celebratissimo quello, che Tolomeo di Filadelfia nel 470 della fondazione di Roma fè elevare sulla isoletta *Faro* presso Alessandria, la quale s'è poi congiunta al continente ampliandosi il *delta* del Nilo.

Ora in cambio de'riflettori concavi, i quali se valgono a mandare paralleli i fasci di luce riflessa, si macchiano in breve tempo, Fresnel usò la lente detta *a gradinate*. Essa è rappresentata di fronte dalla fig. 238 e di profilo dalla figura 239. Componesi d'una len-



Fig. 238.

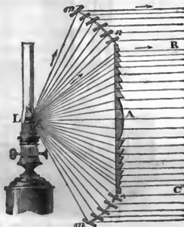


Fig. 239.

te piano-convessa A, intorno alla quale son disposti otto o dieci anelli concentrici di cristallo, essi pure piano-convessi, e di tale curvatura, che i fuochi di tutti coincidano con la lente centrale. Se dunque nel fuoco principale ponesi una lampada L, si otterrà un fascio orizzontale di luce RC, che propagasi a grande distanza; e perchè non vadano perduti i raggi diretti verso l'alto e' l basso, due serie di specchi superiori ed inferiori *m*, *n* li riflettono altresì secondo l'orizzonte. In questa guisa il fascio riflesso non avrebbe che una sola direzione: laonde per rendere visibile la luce

da più punti dell'orizzonte, Fresnel à congiunte fino a otto simili lenti in forma di piramide ottangolare intorno alla medesima lampada, com' è espresso dalla figura 240 dinotante un faro di pri-

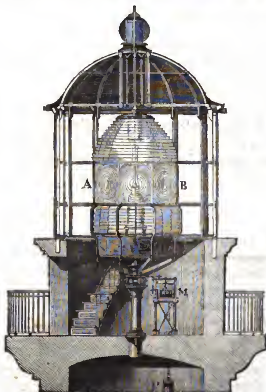


Fig. 240.

m'ordine costruito da Sautter per la solenne esposizione del 1855.

Inoltre v'à de'fari a luce *fissa*, e degli altri a luce *variabile* per meglio distinguerli dagli altri fuochi che splendono sulle coste. In questi, come nella figura, tutto il sistema lenticolare AB mediante il meccanismo di orologeria M animato dal peso P può rotare intorno l' asse. Con ciò tutto l' orizzonte sarà successivamente illuminato tante volte quante sono le lenti, ed altrettante volte resterà quasi oscuro. Suole anche restrignersi il fascio di luce a dati intervalli perchè a quando a quando si lanci luce più splendente. Il numero delle *ecclissi* serve a distinguere un faro dall'altro.

I fari distribuisconsi in ordini secondo il numero de' lucignoli di cui è fornita la lampada, e le dimensioni della lente: v'è pure qualche differenza di costruzione. Ecco un saggio delle dimensioni della fiamma, dell'economia, e dell'effetto ne'singoli fari.

Ordine	Lucignoli	Olio in un'ora	Altezza, diametro della fiamma		Distanza a cui arriva la luce
1	4	750 grammi	9 centim.	9 centim.	9 a 16 leghe
2	3	460	8	7	7 a 9
3	2	195	7	4,5	5 a 7
4	1	45	5	2	3 a 5

S'intende poi da se che la torre del faro vuole essere in proporzione più alta, se dee vedersi più da lungi la luce, a motivo della convessità del mare. Dall'altezza di 5 metri si à una visuale di due leghe, ciascuna di 4000 metri: per una distanza doppia si richiede un'altezza quadrupla, e in generale la distanza risponde alla radice quadrata dell'altezza.

DISPERSIONE E COMPOSIZIONE DELLA LUCE: ACROMATISMO.

191. Scomposizione della luce per mezzo del prisma: spettro solare. Allorchè un raggio di luce da un mezzo passa in un altro, non solamente si rifrange, ma insieme si scompone. Difatti un fascio di luce solare SK (fig. 241) penetri per un piccolo foro in una camera oscura, e ricevasi sul prisma P avente in giù lo spigolo rifrangente A. Se non vi fosse il prisma, il fascio andrebbe a dipingere in K la imagine del sole circolare e bianca come il fascio stesso; ma per la frapposizione del prisma la imagine H è deviata in alto verso la base di questo, e se ricevesi sopra un diaframma prende una specia le apparenza sotto il nome di *spettro solare*.

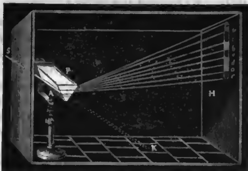


Fig. 241.

Il suo diametro orizzontale uguaglia l'ampiezza del fascio inci-

dente, ma è allungata longitndinalmente: ai dne latl termina con dne rette parallele, in alto e in basso con dne semicerchi. Inoltre è colorata colle più vive tinte dell' arco baleno. Veramente i colori sono molti; ma Isacco Newton ne à noverati sette, che sono i principali, cioè, andando di sotto in sopra: *rosso*, *ranciato*, *giallo*, *verde*, *azzurro*, *indaco*, e *violetto*.

La spiegazione del fenomeno data da Newton è la seguente. La lnce bianca, che viene dal sole, non è semplice, ma componesi di raggi elementari di diverso colore dotati di varia rifrangibilità. Qnesti dnnque traversando il prisma si scompagnano allontanandosi inegualmente dallo spigolo rifrangente, ed occnpano nno spazio angolare; la quale separazione vien detta *dispersione*. I raggi *rossi* sono i meno rifrangibili, poi gli altri gradatamente, e in ultimo i *violetti*. Per fermo il fascio di ciascnno de' colori dovrebbe formare una imagine circolare del sole; il diametro ne sarebbe tanto più grande, quanto fosse più discosto il diaframma dal foro, e'l centro tanto più alto qnanto è maggiore la rifrangibilità del fascio che la produce. Ma tntte qneste imagini parzialmente si sovrappongono: donde il passaggio insensibile per varie tinte, e nn colore è netto colà solamente dove non è frammisto ai raggi vicini. Laonde per avere uno spettro coi colori ben distinti fa d' nopo sia stretta l' apertura, cioè di pochi millimetri, rettangolare anzichè circolare, e parallela allo spigolo del prisma: qnesto deve essere lontano dal foro, e il diaframma da quello.

192. **Ineguale rifrangibilità de' raggi elementari.** Il fatto dello spettro dimostra abbastanza che i raggi elementari sono inegualmente rifrangibili. Purtuttavolta a persnadersene di vantaggio valgono le seguenti esperienze.

1. Ricevasi lo spettro solare sopra nn cartone, che abbia una piccola apertnra; per essa passi il pennello d'un solo colore, e cada sopra un secondo prisma identico a quello che à generato lo spettro. Il pennello snbirà una seconda deviazione, e sarà la stessa indicata dal sito che occnpa nello spettro.

2. S'incollino sopra nn fondo nero una accanto all'altra due sottili strisce di carta di diverso colore, per esempio una rossa, l'altra violetta, e si guardino attraverso nn prisma: se ne vedranno le imagini inegnalmente deviate, e meno la prima che la seconda.

3. Il fascio bianco cada sopra nn prisma con lo spigolo orizzontale: lo spettro ricevasi sopra un secondo prisma, che abbia però

lo spigolo verticale. Si vedrà allora che lo spettro per azione del secondo prisma sarà deviato, ma non così da prendere posizione parallela alla prima, come avverrebbe se tutt'i raggi fossero ugualmente rifrangibili: lo spostamento è angolare, argomento della rifrangibilità crescente dal rosso al violetto. Questa esperienza vien detta de'*prismi incrociati di Newton*.

193. Lunghezza dello spettro, distribuzione de'colori. La lunghezza dello spettro cresce coll'angolo rifrangente del prisma; varia altresì secondo la sostanza diafana, di che il prisma è formato. Quelle sostanze, che danno uno spettro più lungo, si dicono *più dispersive*; è misura della dispersione la differenza degl'indici di rifrazione de'raggi estremi dello spettro. La dispersione del flintglass 0,0433 è quasi doppia di quella del crown-glass 0,0246. Per queste ricerche di paragone si usa il *poli-prisma*, cioè un sistema di prismi con lo stesso angolo rifrangente incollati insieme: pei liquidi s'impiega una vaschetta divisa in compartimenti aperti, se quelli sono poco volatili, chiusi se sono molto volatili, come pure per gli aeriformi.

Inoltre ogni colore occupa non una sola linea, ma una zona dello spettro: adunque il fascio di ciascun colore si compone di più raggi diversamente rifrangibili. Si distingue ad esempio il rosso men rifrangibile da quello che lo è più.

Neanco è la stessa la intensità di luce ne'singoli colori. Secondo Herschell è minima nel violetto, massima nel giallo e nel verde. Finalmente le zone de'diversi colori non sono eguali fra loro. Infatti dividendo la lunghezza dello spettro in 360 parti eguali, Newton con un prisma di vetro, Fraünhofer con uno di flint-glass, ebbero le distribuzioni seguenti di colori ne'due spettri:

	rosso	*ranciato*	*giallo*	*verde*	*azzurro*	*indaco*	*violetto*
Newton	45	27	40	60	60	48	80
Fraünh.	56	27	27	46	48	47	109

Poichè dunque pel prisma di Newton i raggi verdi occupano a un di presso il mezzo dello spettro, furono detti *raggi medii*, e' l loro indice di rifrazione *indice medio*.

194. Teorie di Newton e di Brewster sulla composizione della luce. Poichè da un lato, sia qualunque la materia del prisma, la luce solare bianca dà sempre lo stesso ordine di colori nello spettro; e dall' altro poichè comunque replicate

volte si rifranga un raggio di determinato colore, esso conserva invariata la sua tinta, Newton ne inferì che la luce bianca del sole è composta, che i raggi de' diversi colori ne sono gli elementi, e che questi sono semplici, cioè indecomponibili. Col prisma dunque si esegue l'*analisi fisica* della luce. Tutte le esperienze esposte sin qui, e le altre che riferiremo, confortano tale teoria.

Brewster invece professore a Edimburgo opina altrimenti: che sienò cioè tre soli i colori semplici dello spettro, il rosso, il giallo, l'azzurro, e che gli altri si compongano di questi; ma sieno indecomponibili mediante il prisma, perchè formati da raggi di uguale rifrangibilità: il ranciato di giallo e di rosso, il verde di azzurro e di giallo, il violetto di azzurro e di rosso. Ei giunse a scomporli facendoli passare attraverso de' mezzi diafani colorati, che lasciano passare un solo de' due elementi assorbendo l'altro.

Riesce dunque agevole definire la composizione delle sorgenti di luce naturali ed artefatte analizzandole per mezzo d'un prisma. Lo spettro della luna e de' pianeti è identico a quello de' raggi solari diretti. Gli spettri delle altre sorgenti non contengono colori diversi da quelli dello spettro solare; ma generalmente alcuno ne manca, e la intensità relativa è diversa. I fuochi che appariscono rossi, gialli, azzurri, non sono già d'un solo colore, ma danno degli spettri, ne'quali predomina quel loro colore speciale. Brewster à rinvenuto una sola fiamma artefatta *monocromatica*, quella dell'alcole misto a sale comune, che non ispande fuorchè raggi gialli.

195. **Righe degli spettri.** Nel 1802 Wollaston avea scoverto due linee oscure, l'una nell'azzurro, l'altra nel verde dello spettro ottenuto con limpidissimo flint. Poi Fraünhofer guardando con cannocchiale acromatico ne vide moltissime, sino a 600, di tali *righe* o *strisce* per tutta la lunghezza dello spettro. Per bene osservarle la fissura sia strettissima, ed il prisma ne disti 3 a 4 metri con lo spigolo parallelo a quella nella posizione del minimo di deviazione. Queste strisce oscure parallele allo spigolo del prisma ànno posizioni determinate, e sono di ampiezza diversa. Fraünhofer ne notò specialmente sette, che sono le più distinte, e portano il suo nome. Sono esse preziose, poichè valgono a definire gl'indici di rifrazione de' diversi colori semplici.

Il numero delle righe non che la loro disposizione e intensità sono invariabili sempre che lo spettro è prodotto dalla luce solare diretta o indiretta. Non è così per gli spettri delle stelle fisse, e

delle diverse luci artificiali. Le righe di ciascuna stella fissa presentano molte anomalie. Lo spettro di una lampada non à alcuna riga oscura, e solo tre più luminose nel rosso, nel ranciato, e nel verde. Lo spettro della luce elettrica presenta molte strisce brillanti, come pure la fiamma del cannello.

Il fenomeno delle strisce oscure dimostra che non v'è continuità ne'colori dello spettro:esse indicano l'assenza de'raggi di quella speciale rifrangibilità.

Bunsen e Kirchhoff. Questi due valenti professori di Heidelberg ànno scoverto che ogni metallo aggiunto a una fiamma ne fa variare lo spettro producendovi strisce colorate brillanti caratteristiche, cioè costanti di tinta e di sito, variabili solo da un metallo all'altro. Con ciò la fisica dopo l'elettrolisi à somministrato alla chimica nell'*analisi spettrale* un dilicato mezzo e semplicissimo di ricerca; il quale è atto pure a divinare la presenza di corpi sconosciuti allorchè nello spettro si osservano delle righe mai più non vedute. La scoverta dei metalli *rubidio* e *cesio* è un primo frutto di tali ricerche.

196. **Ricomposizione della luce bianca.** In più modi si ricompone la luce analizzata per mezzo del prisma ; ossia riunendo i colori dello spettro si à per *sintesi* la luce bianca. Infatti:

1.° Cada lo spettro solare sopra uno specchio concavo o sopra una lente convergente: se i raggi riflessi o rifratti ricevonsi sopra un diaframma che successivamente si scosta , si vedrà lo spettro diminuire per gradi di ampiezza; nel fuoco tutt'i colori spariscono e si vede in vece loro una imagine bianca.Se continua ad allontanarsi il diaframma ricomparirà lo spettro , e man mano si andrà ingrandendo,ma con la posizione de'colori invertita perchè i raggi si sono incrociati nel fuoco.

2.° Sette specchi piani convenevolmente inclinati ricevano e riflettano verso lo stesso punto i sette fasci colorati dello spettro : colà dove convengono non si avrà altro che bianco.

3.° Di dietro un primo prisma se ne disponga un secondo identico, ma con lo spigolo inversamente al primo: la luce che si è decomposta traversando il primo, si ricompone per l'azione opposta del secondo. Abbiasi ad esempio una vaschetta AD (fig. 242) di lastre in forma di parallelepipedo rettangolare divisa in due dalla lastra BC diagonalmente , e sorretta dalle viti VV. Se nel primo scompartimento si versa un liquido , il fascio solare che lo tra-

versa dà uno spettro; ma versando lo stesso liquido nel secondo lo spettro sparisce e si ricompone il bianco.

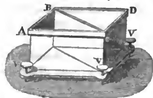
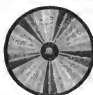


Fig. 242.

4.° Dividasi un disco in sette settori proporzionali all'ampiezza delle zone colorate dello spettro, e si dipingano quant'è possibile colle stesse tinte di quello; o meglio si colorino colle stesse leggi sul disco quattro o cinque sistemi di settori (fig. 243). Se poi gli si imprime un moto di rotazione abbastanza rapido (fig. 244), i settori colorati spariscono, e 'l disco sembra bianco, tendente di ordinario al grigio per la impossibilità d' imitare i colori semplici dello spettro. Il medesimo si ottiene colorando longitudinalmente la superficie convessa d'un cilindro colle tinte dello spettro, e girandolo rapidamente intorno all'asse. La cagione del fatto è riposta nell' essere permanenti per un qualche tempo le impressioni fatte sulla retina da ciascun colore nelle singole posizioni: l'effetto è lo stesso che se le azioni fossero simultanee, non già successive.


Fig. 243.

197. Ricomposizione parziale della luce, colori complementari. Se con uno de' metodi indicati si ricompone una parte de' colori dello spettro, se ne à un colore misto, che si accosta a un di quelli secondo la loro proporzione. Se i due colori elementari sono consecutivi, per esempio rosso e ranciato, si ottiene un rosso più vicino al ranciato, o un ranciato che più si accosta al rosso. Componendo due colori distinti d'un rango si à il colore che li separa: così il rosso e 'l giallo danno il ranciato, il ranciato e 'l verde danno il giallo. Se i colori semplici sono discosti di due ranghi si ottiene uno de' colori medii, ma sbiadato come se fosse misto a bianco.

Newton à detti *complementari* l'uno dell' altro due colori, che insieme riuniti danno il bianco. Così componendo il rosso, il ranciato e 'l giallo, si ottiene tale una tinta *rossa*, la quale unita a quel *verde* che danno il verde, l' azzurro, l' indaco e 'l violetto, produce il bianco. Il verde dunque è complementario del rosso: così pure l' azzurro del ranciato, il violetto del giallo; e si comprende che ogni colore deve avere il suo complementario.

198. **Colorazione de' corpi.** Il colore de' corpi secondo Newton è dovuto ad una virtù delle molecole ponderabili di assorbire o di estinguere diversamente i raggi elementari costituenti la luce bianca.

Sia in prima un corpo *diafano*. Se lo fosse in sommo grado, cioè

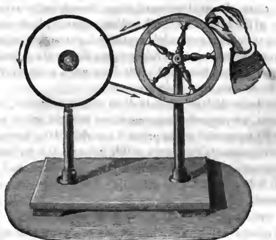


Fig. 244.

se non assorbisse raggio d'alcun colore, non sarebbe neanco visibile, e gli oggetti attraverso di esso si vedrebbero col loro proprio colore, e con tutta la intensità di loro luce: se in parte assorbisse egualmente i raggi de' vari colori, gli oggetti conserverebbero pure la loro tinta, ma meno intensa. Essendo trasmessi i raggi d'un solo colore, il corpo apparisce d'una delle tinte elementari dello spettro; e in generale si vede di quel colore che si ottiene componendo tutt'i raggi trasmessi.

In secondo luogo il corpo sia *opaco*. Se non à virtù di assorbire raggio di alcun colore, esso è *bianco:* se tutti gli assorbe, è *nero.* Tende al *grigio*, se le porzioni assorbite de' vari colori stanno fra loro nella medesima ragione in cui essi compongono il bianco. Sarà poi *colorato* d'un colore semplice, se un solo ne riflette o diffonde assorbendo gli altri; e in generale apparirà di quel colore, che nasce componendo tutt'i raggi riflessi o diffusi.

Tutt'i fatti spettanti al colore de'corpi servono di dimostrazione a questa teoria, e ne sono pure come altrettante conseguenze. Ci basterà indicare i seguenti.

1. Un corpo trasparente è d'un colore tanto più carico, quant'è maggiore la sua spessezza; se riducesi a sottigliezza relativamente estrema non sembra più colorato.

2. Il colore, di cui si vedono i corpi, dipende dalla natura della luce che gl'illumina: è tanto più brillante quanto più il colore della luce si avvicina a quello de' corpi stessi, e vicendevolmente. Una stanza verde splenderà assai più se venga illuminata da luce verde, che da qualunque altra: se il verde fosse puro, sembrerebbe buia illuminata da altra luce semplice.

3. Due lastre diafane colorate d' un colore semplice, e carico abbastanza, sovrapposte compongono un sistema opaco; poichè il solo raggio trasmesso per la prima è assorbito dalla seconda.

4. Sovrapponendo due lastre sottili colorate si à un sistema di luce composta da' colori di entrambe. Serve a quest'uso il *cromascopio* di Soleil, composto di sei vetri colorati in rosso, ranciato, giallo, verde, azzurro, e violetto, contenuti in altrettanti anelli, e girevoli così da potersi sovrapporre due a due a piacere.

5. Col prisma si fa l'analisi del colore de'corpi. Poniamo infatti che guardisi attraverso un prisma una listarella sottile di carta bianca collocata sopra un fondo nero parallelo allo spigolo di quello; e si vedrà una serie di frange colorate de'colori dello spettro con deviazione crescente dal rosso al violetto: viene con ciò a scomporsi la luce bianca della carta.

Se poi la listarella à una certa ampiezza, appare bianca nel mezzo, con due serie di frange a' due lati corrispondenti agli spigoli del prisma: l' orlo verso il vertice è tinto di azzurro, d' indaco e di violetto, l' altro verso la base è colorato di rosso, ranciato e giallo. La ragione di queste apparenze è evidente. Poichè se imaginiamo divisa la striscia di carta in tante zone sottilissime parallele allo spigolo, ognuna farà il suo spettro: tutti questi spettri si sovrappongono parzialmente riproducendo il bianco, e restano i colori più rifrangibili da un lato, i men rifrangibili dall'altro.

Similmente tolta una listarella sottile da un qualunque corpo e collocatala sopra un fondo nero, se n' può esaminare il colore guardandolo da una certa distanza attraverso un prisma. Si scovre così che i colori di tutti i corpi sono composti, e perciò nessuno pareggia in purezza quelli dello spettro solare.

6. Il colore d'un corpo diafano generalmente è lo stesso se guardasi per riflessione o per trasmissione. Ad esempio se un vetro si mostra verde allorchè à da un lato la sorgente luminosa riguardo all'occhio, è anche verde quando trovasi tra la sorgente e l'occhio. Purtuttavolta in alquanti minerali osserviamo l'opposto: l'*argento rosso* è rosso per trasmissione, color grigio di ferro per riflessione, e v'è una varietà di fluorina verde per trasmissione, azzurra per riflessione. Il fenomeno dicesi *dicroismo*.

7. Sovente si à un corpo bianco pel miscuglio intimo di due corpi diafani dotati di potere rifrangente assai diverso. La neve, le nuvole, la schiuma debbono la loro bianchezza all'aria o ad altro aeriforme intimamente mescolati al ghiaccio o all'acqua. Il fenomeno dell'idrofana è dovuto alla medesima cagione. Dicasi lo stesso della creta, che immersa nel balsamo del Canadà liquido perde la sua bianchezza, emette aria, ed acquista un certo grado di trasparenza a segno da potervisi osservare con microscopio de' minutissimi animaletti. Questa è ugualmente la cagione, per cui i solidi *diafani* ridotti in polvere diventano *opachi*.

199. **Raggi e spettri di diversa natura.** Dal sole e dalle altre sorgenti di luce partono non pure raggi luminosi, ma anche di altra natura, capaci di produrre effetti diversi, quali sono i raggi termici, chimici e magnetici, e quelli che producono la fosforescenza e la fluorescenza. Tutti essi sono diversamente rifrangibili, e però costituiscono tanti spettri a somiglianza dello spettro luminoso. Dei raggi luminosi fin quì, e de' termici nel libro del Calore basti quanto abbiamo esposto: occupiamoci degli altri.

1. *Raggi chimici*. Mille fatti ci rivelano che il raggiamento solare à virtù di produrre azioni chimiche. Infatti alcuni corpi si combinano di presente esposti alla luce, come il cloro e l'idrogeno; altri subiscono lente alterazioni che si rendono sensibili con un cangiamento di colore; così il fosforo diafano diventa rosso: il cloruro d'argento si fa prima violetto, poi nero. Sull'azione che la luce esercita sul ioduro, bromuro, o cloruro di argento è fondata la *daguerrotipia*. È singolare che i principii coloranti di origine vegetale si scompongono alla luce, mentre le tinte più vive nel regno vegetale e animale si osservano tra i tropici, dove più potente è l'azione della luce; e principalmente alla virtù della luce si deve la *clorofilla*, cioè la materia verde delle piante.

Che i raggi chimici occupino la parte più rifratta dello spettro,

è una scoverta dovuta a Scheele, il quale conobbe essere massima l'azione de' raggi violetti sul cloruro d'argento; e Ritter di Jena nel 1801 scovrì che con la stessa intensità essa si estende nello spazio oscuro di là dal violetto. Wollaston ottenne poi il medesimo senza nulla sapere dell'esperienze dell'altro.

Lo spettro chimico va distinto in due parti secondo Edmondo Becquerel: la prima, ch'è la più rifratta, contiene i raggi *eccitatori*, la seconda meno rifratta componesi di raggi *continuatori*, i quali cioè ànno forza di protrarre l'azione chimica determinata dai primi. Ricevendo lo spettro solare su lamina atta a soffrirne alterazione ei definisce l'ampiezza dello spettro chimico.

2. *Raggi fosforescenti*. V'à de' corpi, che esposti per qualche tempo a luce intensa acquistano virtù di splendere al buio senza che la loro temperatura sia elevata abbastanza: il fenomeno è analogo a quello che presenta il fosforo nell'aria, perciò dicesi *fosforescenza*, e i corpi stessi *fosfori* o *fosforescenti*. Il *fosforo di Bologna* è il più anticamente conosciuto: è un solfato di barite calcinato: esposto per dieci secondi al sole splende di luce rossa. Quello di Balduino è azotato di calce calcinato: quello di Canton si à calcinando tre parti di gusci di conchiglie con una di solfo.

Il colore della luce fosforica può esser diverso da qnello che l'à eccitata. Infatti se espongonsi a' raggi azzurri o violetti un diamante, e la varietà di fluorina detta *clorofana*, il primo splende al buio di luce giallo-ranciata, la seconda di luce verde. Anzi i raggi azzurri, violetti ed ultra-violetti sono atti ad eccitare la fosforescenza, e i rossi, i gialli e i verdi sono inerti.

Sonvi pnre altri mezzi adatti a produrre la fosforescenza. Tali sono le azioni meccaniche, come lo strofinio, la percossa e la pressione: si rendono per esse fosforescenti il solfnro di zinco soprattutto, e poi lo zucchero in pane, il quarzo, parecchi marmi, e simili. Altri corpi danno luce fosforica più o meno riscaldati, o anche traversati da potenti scariche elettriche. Da ultimo la fosforescenza si osserva in alquanti insetti, come nelle *lampiridi*, di cui noi abbiamo dne specie, la *splendidula* e la *italica*, che è la vera *lucciola*; ed il fenomeno sembra soggetto alla spontaneità; come pure in parecchie sostanze organiche in atto di scomporsi, cioè nei legni e in molti pesci, massimamente nelle aringhe. Ad insetti splendenti infinitamente piccoli è dovuta la fosforescenza del mare.

3. *Raggi fluorescenti*. Una nuova serie di fatti è stata scoverta

da Stokes in questi ultimi tempi, la cui cagione è ignota. Ei chiama *fluorescenti* quei corpi, i quali colpiti dalla luce solare concentrata con lente di flint, la diffondono vivamente per ogni verso con tinta variata; a tale fenomeno di diffusione e colorazione egli à dato il nome di *fluorescenza*. Così l'infusione della corteccia fresca del castagno indiano spande luce azzurra; la soluzione alcolica o eterea di clorofilla ottenuta con le foglie del polygonum hydropiper, di ortica di edera e simili luce rossa o porpora; la tintura alcolica de' semi del datura stramonium, come il vetro d'ossido di uranio, luce verde giallastra.

A produrre la fluorescenza del pari che la fosforescenza sono più attivi i raggi più rifrangibili dello spettro, cioè gli azzurri e i violetti, ed anche gli oscuri di là dal violetto. Ma è singolare che i raggi attivi producono sempre fluorescenza d'un colore meno rifrangibile: così l'azzurro, l'indaco e'l violetto cagionano ne' corpi fluorescenti il rosso, il ranciato, il verde, il giallo, ed anche l'azzurro; ma non si avvera mai l'opposto.

Inoltre guardando con prisma di flint le sostanze fluorescenti si trova che il loro colore diffuso è mai sempre composto.

Altre sorgenti luminose sono ricche di raggi fluorescenti al pari del sole, come la luce delle correnti d'induzione nel vuoto, e la fiamma azzurra del solfo o del solfuro di carbonio: per converso ne sono poverissime la fiamma del gas dell'illuminazione, e quella delle lampade comuni.

4. *Raggi magnetici*. Il professore Morichini dell'Università romana nel 1809 annunziò che i raggi violetti dello spettro solare aveano potere di magnetizzare gli aghi di acciaio. Da quell'epoca sommi fisici ne ànno ripetuta variamente l'esperienza con risultamenti opposti. A me sembra che se da una parte non può dubitarsi del fatto, dall'altra non è rimosso il dubbio che il magnetizzamento non sia dovuto piuttosto all'azione della terra, e a' raggi chimici o calorifici dello spettro.

200. Aberrazione di rifrangibilità: acromatismo. Poichè un fascio di luce bianca rifrangendosi si scompone per la ineguale rifrangibilità de' raggi elementari, tutte le sorgenti luminose, e tutti gli oggetti veduti attraverso un mezzo rifrangente come un prisma o una lente appariscono colorati. A questo difetto si è dato il nome di *aberrazione di rifrangibilità*, ed è un inconveniente gravissimo sovrattutto negli strumenti di ottica.

Newton giudicando che la rifrazione rispondesse sempre con giusta proporzione alla dispersione, ne inferì che fosse impossibile l'*acromatismo*, cioè la deviazione de' raggi senza colorazione. Eulero sostenne l'opposto. Hall nel 1733 riuscì a costruire de' cannocchiali *acromatici*, ma ne tacque il metodo. Dollond finalmente nel 1757 pubblicò la scoverta, la quale è riposta nel sovrapporre uno all'altro due mezzi ugualmente rifrangenti, ma inegualmente dispersivi. Si usano comunemente il flint e il crown, il primo dei quali disperde assai più del secondo.

Per intendere come questo avvenga, cada un fascio di luce bianca SI (fig. 245) sul prisma di crown CBF: sarà scomposto e andrà ad esempio il raggio rosso secondo Ir, il violetto secondo Iv. Se un secondo prisma di flint CFD sia dietro il primo, ma con l'angolo rifrangente minore che il prisma di crown C e collocato inversamente, è chiaro che il raggio rosso rE sarà ben sollevato verso la base del secondo prisma, ma non in modo da rendersi parallelo al raggio incidente SI: perchè ciò potesse accadere, dovrebbero essere uguali gli angoli rifrangenti, come sono pressocchè uguali i poteri rifrangenti: uscirà dunque il raggio rosso secondo la direzione EO formando un angolo col raggio incidente SI. Il raggio violetto poi Iv traversando il prisma di flint sarà sollevato anche esso verso la base, ma più che il raggio rosso, per essere il potere dispersivo del flint maggiore di quello del crown. Non occorre dunque altro a persuadersi che i prismi CBF e CDF possono avere tali angoli rifrangenti, che i raggi rosso e violetto emergano paralleli tra loro senza essere altresì paralleli al fascio incidente SI. Allorchè ciò si avvera, il fascio emergente sensibilmente non à colore, comunque deviato. Il sistema de' due prismi è acromatico, ossia attraverso di essi un oggetto non si vede colorato come attraverso un unico prisma ABF. Ad avere l'acromatismo se l'angolo rifrangente del crown è di 5°, quello del flint dev'essere 2°, 24'.

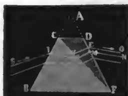


Fig. 245.

Nelle lenti è uguale il difetto dell'aberrazione di rifrangibilità, e nelle biconvesse è massimo: vi saranno sette fuochi pe' diversi raggi inegualmente rifrangibili, quello de' raggi violetti più prossimo alla lente, quello de' rossi più discosto. Or con l'istesso principio de' prismi si acromatizza per esempio una lente bicon-

vessa di crown (fig. 246), accoppiandole una lente biconcava di flint, la quale riduce a un punto solo i fuochi de'raggi rosso e violetto senza però distruggere completamente la convergenza de' raggi emergenti provenienti da raggi incidenti paralleli.



Fig. 246.

Veramente con due soli prismi o con due sole lenti non si ottiene acromatismo completo; poichè comunque si riducano a coincidere i raggi rosso e violetto, restano pure separati i raggi degli altri colori. A comporli tutti si richiederebbero sette sostanze differenti. Nondimeno in pratica l'acromatismo con due è sufficiente ; ma impiegando una terza sostanza per far coincidere il fuoco di un altro colore con quello de' raggi rosso e violetto si ottiene quell'acromatismo, che va distinto col nome di *perfetto*.

DELL'OCCHIO E DE' FENOMENI FISICI DELLA VISIONE.

201. **Descrizione dell' occhio umano.** L' occhio è l' *organo della visione*, il quale ci rivela la presenza degli oggetti esterni mediante la luce che ne riceve. Contiensi in una cavità ossea detta *orbita* ed à forma presso a poco sferica : le varie parti si veggono nella sua sezione verticale fatta d' avanti in dietro (fig. 247).

L'inviluppo esterno del bulbo dell'occhio è formato da una membrana densa e fibrosa, la quale componesi di due parti, l'una trasparente , l' altra opaca , convesse entrambe. L' anteriore *a* detta *cornea trasparente* à una curvatura più forte dell'altra: la seconda detta *cornea opaca* o *sclerotica* forma il bianco dell'occhio.

Colà dove la cornea si congiunge alla sclerotica è fissata l'*iride d*, la quale è una membrana opaca, colorata e che dà il colore all'occhio, composta di fibre muscolari, circolari e raggianti. Verso il suo centro à un foro, circolare nell'uomo, detto *pupilla*, pel quale penetrano i raggi, atto a restringersi e a dilatarsi secondo le alternative di maggiore e di minore luce. In altri animali à forma diversa ; così nel genere *felis* presentasi come una fenditura verticale, e ne' ruminanti trasversale.

Dietro l'iride è sospesa un'altra membrana *f* solida , diafana, di forma lenticolare, detta il *cristallino;* il quale si compone di strati

concentrici di densità crescente dall'orlo al centro, con la faccia anteriore men convessa della posteriore. È avvolto nella *capsula*, la quale aderisce ai *processi ciliari g*.

Tra la cornea ed il cristallino v'è l'*umore acqueo* affine a leggiera soluzione acquosa di sal marino, diviso dall'iride nella *camera anteriore b*, e nella *posteriore c*. Dietro il cristallino v'è l'*umore vitreo*, di densità somigliante all'albume dell'uovo.

Fig. 247.

Sulla faccia interna della sclerotica è distesa la membrana *k* detta *coroide* ricoverta d'una sostanza nera, che si protende in avanti e va a formare i processi ciliari.

Da ultimo la *retina m* è altra membrana sottile e semitrasparente, che ricopre la coroide, ed è formata dalla espansione della parte midollare del nervo ottico *n*, il quale viene dal cervello traversando il fondo dell'orbita.

Dicesi *asse ottico* la retta, che s'intende passare pe'centri della cornea, della pupilla e delle due facce del cristallino.

Dimensioni medie delle varie parti dell'occhio	*millimetri*
Raggio di curvatura della sclerotica	10 a 11
della cornea	7 a 8
Spessezza della cornea	1
Distanza tra pupilla e cornea	2
Spessezza del cristallino	5
Diametro dell'iride	11 a 12
della pupilla	3 a 7
del cristallino	10
Raggio anteriore del cristallino	7 a 8
Raggio posteriore	5 a 6
Lunghezza dell'asse dell'occhio	22 a 24

Brewster à determinato gl'indici di rifrazione delle parti trasparenti dell'occhio, paragonandoli a quello dell'acqua: sono i seguenti:

Acqua.	1,3358	Inviluppo esterno del cristallino.	1,3767
Umore acqueo . . .	1,3366	Parte centrale.	1,3990
Umore vitreo . . .	1,3394	Rifrazione media del cristallino .	1,3839

202. **Formazione delle imagini nell'occhio.** L'occhio riducesi a un sistema di lenti convergenti, la cui disposizione il rassomiglia ad una camera oscura. Seguiamo dunque nel suo camino il fascio luminoso, che parte da un punto situato sull' asse ottico. Nell' incontrare la cornea trasparente il fascio dividesi in due porzioni; l'una ne vien riflessa come sulla superficie d' uno specchio convesso, e forma una imagine virtuale del punto luminoso. Così vediamo la nostra imagine impiccolita e dritta nell'occhio di chi ci è di rincontro. L'altra parte del fascio incidente penetrando nell'umore acqueo si rifrange,e si rende men divergente accostandosi all'asse. L'iride arresta una porzione de' raggi rifratti, i più divergenti: l' altra penetra per la pupilla, e traversando il cristallino si rifrange di nuovo divenendo ancor meno divergente. Da ultimo penetrano i raggi dal cristallino nell'umore vitreo:questo è men rifrangente, ma la sua superficie a contatto del cristallino è concava; laonde rifrangendosi un'ultima volta i raggi si accostano all'asse ottico,e se il punto luminoso è sito a distanza conveniente riguardo alla disposizione attuale de' mezzi rifrangenti dell'occhio, si forma la imagine reale e netta del punto luminoso sulla retina.Similmente si forma sulla retina la imagine capovolta d'un oggetto esterno, ed allora l'occhio il percepisce.

Per assicurarsi della formazione di tale imagine,si presenti una candela in una stanza oscura all'occhio di un bue, di cui si è assottigliata la sclerotica per renderla semitrasparente, o pure all'occhio del coniglio albino ch'è privo di pigmento; e si vedrà sulla retina la imagine rovescia della fiamma.

203. **Condizione indispensabile alla visione.** Perchè l'occhio vegga l'oggetto sembra indispensabile la formazione della imagine sulla retina. Per ciò intendere si rifletta, che qualunque maniera di eccitamento della retina si risolve sempre in una sensazione di luce, o che alla luce stessa sia dovuta la impressione, o al passaggio dell'elettrico; o anche ad una cagione meccanica, come urto o percossa. Laonde se l'organo non esistesse, o altrimenti se questo fosse privo del sistema lenticolare e si componesse solamente del nervo ottico,non sarebbe possibile altra sensazione fuorchè quella d'una luce più o meno intensa, o della sua privazione;

non già della presenza e della forma dell' oggetto esterno. Ma la formazione della imagine sulla retina importa che diversi punti di questa sono differentemente eccitati:più fortemente quelli dove si raccoglie luce maggiore, più debolmente i meno illuminati; e gli oscuri restano inerti. L'occhio poi vede l'oggetto esterno, poichè la distribuzione di tale azione sulla retina è in corrispondenza di quello, ossia perchè v'è la medesima relazione di distanza e d'intensità d'eccitamento tra i diversi punti della retina, che v'è tra quelli dell'oggetto e la loro luce.

Punto cieco. Ma non tutt'i punti della retina sono eccitabili. Mariotte con la seguente esperienza à scoverto un punto della retina insensibile all'azione della luce, detto *punto cieco*. Sur un fondo nero sieno tre dischetti bianchi nell'istessa linea, distanti un dall'altro 5 o 6 centimetri: si avvicinino moltissimo agli occhi, de'quali chiusone uno, per esempio il dritto, col sinistro si guardi il dischetto medio: man mano poi si vada scostando il fondo e si perverrà ad una certa distanza, ch'è di 12 a 15 centimetri, e non più si vede il dischetto ch'è di rincontro all'occhio chiuso, per riapparire a distanza maggiore: un tal punto insensibile della retina corrisponde alla origine del nervo ottico.

Risolviamo ora un dopo l'altro i principali problemi, che riguardano la visione.

204. **Aggiustamento dell' occhio alle distanze.** Essendo definita la virtù convergente dell'occhio, non v'à dubbio, che variando la distanza dell'oggetto, non potrebbe formarsene la imagine con uguale nettezza sulla retina. Purtuttavolta noi vediamo con distinzione oggetti diversamente discosti. Forza è dunque concluderne che l'occhio *si adatta* alle varie distanze.

Pria di cercare come questo avvenga si osservi, che in dirigere l'occhio a un oggetto qualsiasi il vediamo bene con chiarezza, ma insieme vediam confusamente tutti gli altri più lontani, o più vicini. È agevole convincersene ponendo avanti l'occhio una lastra con un punto nero. Adunque un qualche cangiamento avviene in esso, per cui si rende adatto a vedere gli oggetti a diverse distanze. Parecchie cagioni di tale attitudine assegnano i fisici e i fisiologi, le quali però sembrano contribuirvi di accordo.

Pouillet opina bastare il restrignersi e il dilatarsi della pupilla secondo che l'oggetto è vicino o lontano. Nel primo caso i raggi cadono più divergenti; ma restringendosi la pupilla, essi travesa-

no la parte centrale del cristallino, di cui è maggiore la forza rifrangente. Nel secondo la pupilla si dilata, e i raggi men divergenti traversano la estremità periferica del cristallino, che è pure men rifrangente. Ma con ciò solo non sembra esclusa la moltiplicità de' fuochi a diverse distanze, donde confusione nella imagine: inoltre la varia apertura della pupilla è meno in relazione con la distanza dell'oggetto che con la diversa intensità di luce.

A tacere però di altre opinioni, sembra che Cramer in Olanda, e Helmholtz in Germania abbiano scoverto in questi ultimi anni il vero meccanismo di tale funzione. Per essi in appressarsi l'oggetto la pupilla si restrigne, l'orlo pupillare dell'iride va in avanti e la porzione periferica in dietro, la faccia anteriore del cristallino diviene più convessa, avanzandosi la sua parte centrale verso la cornea, e cresce d'alquanto la convessità della faccia posteriore ma senza spostarsi.

Finalmente aggiungo, che non pare potersi attribuire la chiarezza della visione, comunque varii la distanza dell'oggetto, al tenue spostamento della distanza focale del cristallino. Poichè veramente l'occhio fa uno sforzo in adattarsi alle varie distanze, il quale riesce incommodo se è prolungato, soprattutto per gli oggetti vicinissimi; e poi si solleva dirigendosi ad un oggetto lontano: anzi v'è pure un limite minimo, a cui l'occhio non può adattarsi, perchè a distanza di un centimetro un oggetto non si vede.

Distanza della visione distinta. A distanza di 25 a 30 centimetri un occhio sano vede con massima nettezza e minimo sforzo un oggetto piccolissimo, ad esempio d'un millimetro. Questa è la distanza *della visione distinta*, variabile però ne' diversi individui.

205. **Giudizio della grandezza e della distanza.** Giudichiamo della grandezza e della distanza d'un oggetto dall'*angolo ottico*, dall'*angolo visuale*, e dalla *intensità di luce*.

Angolo ottico è l'angolo contenuto dagli assi ottici de' due occhi quando son diretti al medesimo punto; ed esso è tanto più piccolo quanto più lontano è l'oggetto. *Angolo visuale*, sotto cui vedesi un oggetto, è l'angolo che nel centro dell'occhio contengono i due assi ottici diretti agli estremi del maggior diametro di quello. Quest'angolo varia nella ragione diretta della grandezza dell'oggetto e nella inversa della distanza. Laonde conoscendo una delle due quantità può inferirsi l'altra: non così ignorandole entrambe.

Anche la intensità di luce à grande influenza. Riputiamo più vi-

cini o più remoti gli oggetti secondo sono più o meno illuminati.

Ma l'abitudine e 'l paragone sono di guida in tale giudizio, senza che andiam soggetti a quegli errori che chiamansi *illusioni ottiche*. Ad esempio due file di alberi paralleli sembrano convergenti perchè la costante loro distanza è veduta sotto angolo visuale sempre minore: perciò anche il soffitto di una galleria sembra inclinarsi verso la parete opposta e sollevarsi il pavimento: l'orizzonte ci sembra circolare e la volta del Cielo apparisce concava. Il disco lunare si direbbe assai più grande dei maggiori pianeti e financo del Sole e delle stelle. La superficie del mare riferita al piano di livello, che passa per l'occhio di chi si trova al lido, si eleva all'orizzonte: e un'alta torre guardata di basso e riferita alla verticale che passa per l'occhio pende in avanti. Una montagna, un paesaggio sembrano men discosti, quando l'aria pura e men carica di vapori ci trasmette in maggiore copia la luce che quelli diffondono; apparisce il contrario nel caso opposto.

La mancanza di abitudine fa che i ciechi dalla nascita per cateratta, appena operati veggano tutti gli oggetti ad uguale distanza. Per converso sottoponendo a calcolo queste diverse impressioni se ne deducono le leggi di prospettiva per rappresentare ne' varii piani d'una tela dipinta gli oggetti secondo le distanze.

206. **Visione dritta ad imagine rovescia.** Vediam diritto l'oggetto, comecchè rovescia se ne formi la imagine, non per abitudine o per una specie di educazione dell'occhio, come pensa Zimmermann con altri molti, ma veramente con d'Alembert, perchè l'occhio riferisce la posizione dell'oggetto nella direzione secondo cui ne riceve i raggi; nè dee già vedere la imagine, ma affetto da questa vede l'oggetto. Inoltre si rifletta col Muller, che le voci *dritto* o *rovescio* non àn luogo nel caso attuale, poichè di tutti gli oggetti, che sono nel campo della visione, le imagini sono rovesce; e però non debbono cangiare le relazioni di posizione di nessuno rispetto agli altri.

207. **Visione binoculare.** Dirigendo i due occhi al medesimo obbietto, il vediamo semplice non doppio, come parrebbe dover succedere per le due imagini che se ne formano ne'due organi. Ciò accade perchè riferiamo ad un solo oggetto in un sol luogo le due impressioni ricevute su punti che si corrispondono delle due retine. Se premasi da un lato il bulbo d'un occhio in maniera da spostarne l'asse ottico, si vedrà l'oggetto duplicato, perchè le due ima-

gini più non si formano su quelle parti delle due retine, che abitualmente si corrispondono. Per la medesima ragione dirigendo gli assi ottici a un oggetto vediam duplicati tutti gli altri, che sono a maggiore o a minore distanza.

Qualche cosa di somigliante si osserva nel tatto. Se si accavalla il dito medio all'indice, e con entrambi si tocca una pallina, sembrerà di toccarne due; poichè in tal posizione le impressioni si ricevono su porzioni de' due polpastrelli, che non si corrispondono nella giacitura normale.

Taylor e Wollaston a rendere ragione di questo fatto, opinarono che i due punti omologhi di dritta o di sinistra delle due retine componessero uno stesso filetto nervoso cerebrale di dritta o di sinistra biforcato all'incrociamento de' due nervi ottici. Tale ipotesi sarebbe favorevole a spiegare il fenomeno, che Wollaston e Arago osservarono su loro stessi, della paralisi parziale e transitoria della retina per metà, e dal medesimo lato per ciascun occhio, donde il vedere la sola metà dritta o sinistra degli oggetti. Ma nessuna osservazione anatomica dimostra siffatte semi-decussazioni de'nervi ottici; nè fa bisogno ammetterle, poichè è pur semplice la sensazione del suono co' due orecchi, sebbene i due nervi acustici nulla di somigliante presentino.

Inoltre son da notare i seguenti effetti della visione binoculare.

1.° Con ambo gli occhi si vede più chiaro che con un solo. Frappongasi infatti la mano innanzi a una scrittura, e si vedranno come più illuminati i caratteri che restano visibili da' due occhi.

2.° La simultaneità delle due impressioni fa che esse si sovrappongano o meglio si compongano in diversi modi. Così dirigiamo, guardando attraverso due tubi, gli assi ottici a due oggetti in modo che le loro direzioni s'incontrino; si vedrà un solo oggetto nel punto d' incontro, e più lontano o più vicino degli oggetti stessi secondo che le direzioni degli assi ottici s' incontrano di là da essi, o s'incrociano prima. Se guardiamo due dischetti di colore diverso, se ne vedrà un solo del colore che si compone di quei due.

3.° Alla sovrapposizione pure delle due impressioni è dovuta la sensazione del rilievo. Infatti essendo diversa la posizione relativa de' due occhi riguardo al medesimo oggetto, son differenti le imagini che se ne dipingono sulle due retine, e tanto più quanto è minore la distanza. Altrimenti con ciascun occhio scovriamo più un lato che l'altro dell'oggetto. Inoltre sono diverse le proie-

zioni dello stesso oggetto guardato con l'occhio diritto o col sinistro. Laonde dalla percezione simultanea di quelle due imagini si giudica della solidità, ossia delle tre dimensioni, come pure della forma e della distanza. Anzi con un occhio solo non si perviene al medesimo intento fuorchè mediante l'abitudine, il paragono e 'l concorso degli altri sensi.

208. **Stereoscopio.** La sua teorica è fondata sull'ultimo effetto della visione binocnlare. Fu imaginato da Leonardo da Vinci, riprodotto da Wheatstone, perfezionato da Brewster.

Sieno A, B (fig. 248), due disegni del medesimo oggetto con la prospettiva appartenente all'occhio diritto e all'occhio sinistro, discosti alquanti centimetri l'uno dall'altro. Ciascun occhio guardi il disegno che gli corrisponde, mentre con due specchi piani, come operò Wheatstone, o con prismi o con lenti *m*, *n* secondo Brewster, si son fatti conincidere i due disegni, dando ai raggi luminosi la stessa direzione che se partissero da un oggetto unico C. Le impressioni sulle due retine saranno come se in C vi fosse l'oggetto stesso in rilievo; e difatti la illusione è oltre quanto può dirsi completa.

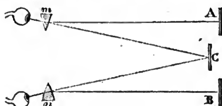


Fig. 248.

È indispensabile che le due lenti *m*, *n* sieno identiche per produrre la medesima deviazione: a tale scopo Brewster divide in due una stessa lente convergente. Inoltre è impossibile di riprodurre a mano con tutta perfezione le due proiezioni dell'istesso oggetto: non vi si perviene che mediante la *fotografia*.

La figura 249 rappresenta lo *stereoscopio* in forma di piramide quadrangolare: nel fondo si collocano i due disegni, le lenti in due tubi dall' opposto lato. Se i disegni sono traslucidi, ricevono luce posteriormente; se opachi, per un'apertura superiore, alla quale pure è aggiustata una lamina riflettente.

Foucault e Regnault ànno verificato con lo stereoscopio il secondo effetto della visione binoculare, la composizione de' colori.

209. **Aberrazioni di rifrangibilità e di sfericità nell'occhio.** Ora non è più permesso di ritenere che l'occhio sia acromatico, tra perchè la sua conformazione non l'indica, e

per le molte esperienze all' uopo istituite. Valga per tutte la seguente di Plateau prof. di Brussella: in una camera oscura si guardi la fiamma d'una candela attraverso un vetro azzurro di cobalto, il quale si lascia traversare da' raggi di color rosso, indaco, e violetto, e assorbisce gl'intermedii specialmente i gialli e i verdi. Se la distanza della fiamma dall'occhio è quella della visione distinta, essa ti apparisce violetta; se la scosti senza modificare lo

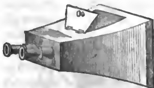


Fig. 249.

stato dell'occhio, il fuoco de'raggi violetti si formerà più dappresso al cristallino che non quello de'raggi rossi, e vedrai rossa la fiamma circondata da un'aureola violetta; se per converso accosti la fiamma ti accadrà l'opposto, cioè la vedrai violetta cinta di rosso. L'occhio dunque non à la proprietà di formare un fuoco solo de'diversi colori dello spettro. Purtuttavolta dell' acromatismo apparente la cagione è doppia, cioè la ristrettezza de'fasci luminosi, che traversano l'apertura della pupilla, e la loro incidenza quasi normale, donde piccola la rifrazione e quasi nulla la dispersione.

L'aberrazione di sfericità è corretta dall'iride, che agisce come un vero diaframma.

210. **Persistenza della impressione sulla retina.** La impressione della luce sulla retina non si estingue bruscamente col disparire dell'oggetto, ma d'una maniera lenta e per gradi così da misurarne la durata. Plateau è pervenuto alle seguenti conseguenze. Per la impressione compiuta si richiede che la luce abbia agito un certo tempo: la durata totale dell'impressione è la stessa per tutt'i colori, in circa 0',34, e corrisponde alla intensità della luce: la intensità costante dell'impressione si valuta 0'', 1, allorchè è prodotta dalla luce diffusa del giorno: la sua durata però è in ragione inversa della intensità della luce che l'à prodotta, ed è maggiore per l'azzurro che pel rosso o per la luce bianca.

Sovente accennammo gli effetti e le applicazioni di cotesto principio, sul quale altresì sono fondati parecchi ordigni attissimi ad istruire dilettando; indichiamo i seguenti :

1. *Taumatropo*, che vuol dire *maraviglia girante;* consiste in un disco di legno o cartone A (fig. 250), a cui per mezzo di due corde C,C' che si torcono alternamente in versi opposti, si può imprimere una rotazione rapida intorno a un suo diametro. Sopra

una delle facce si disegni, ad esempio, un busto senza testa, e alla faccia opposta la testa sola: al rotare del taumatropo la testa si colloca al suo posto, e'l busto sembra completo. È chiaro che in mille modi si possono variare cotali disegni.

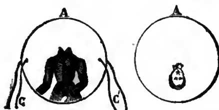
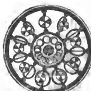


Fig. 250.

2. *Caleidofono*. Questo arnese ideato da Wheatstone non è che una verga metallica sostenuta da una base, e terminata in alto da una piccola sfera di vetro argentato. Al vibrare della verga il punto brillante, che si à per riflessione nel piccolo specchio, disegna svariate curve luminose.

3. *Ruote giranti di Faraday*. Se due ruote di uguale diametro e di ugual numero di raggi girano sul medesimo asse oppostamente e con la stessa velocità, l'occhio collocato nel prolungamento dell'asse ne vede una sola col doppio numero di raggi. Inoltre sopra un disco di cartone si pratichino due o tre ordini di aperture in giro di diverso numero: accostando l'occhio al disco mentre gira intorno al suo asse, e guardandone la imagine in uno specchio, l'ordine di fori, attraverso cui si vede, sembra immobile, gli altri girano lentamente.

4. *Fenachisticopio* di Plateau. Sopra un disco di cartone (figura 251) si disegni una medesima figura in giro nelle diverse posizioni che deve prendere per eseguire un movimento completo: sur un altro disco più grande B (fig. 252) si pratichino altrettante aperture; poi fissatili entrambi agli estremi d' un asse e con molinello a due ruote dando loro rotazione opposta, in appressare l'occhio al disco B si vedrà la figurina come animata eseguire di fatti quel movimento.


Fig. 251.

5. *Anortoscopio*. Anche a Plateau è dovuto quest'altro istrumento, di cui l'effetto è più singolare. Sopra uno de'due dischi annerito sono scolpite due fenditure diametrali ad angolo retto: sull'altro v'è il disegno d'una figura con le dimensioni gradatamente ingrandite dal centro alla periferia. Al rotar de'due dischi opposta-

mente, l'occhio a certa distanza vede quella figura moltiplicata e regolare. Ne è cagione così la persistenza della impressione, come la velocità diminuente dalla periferia al centro.

211. Opposizione negli eccitamenti della retina. Cessata la cagione dell'eccitamento della retina, essa ritorna allo stato normale con una serie di oscillazioni opposte, le quali si comunicano pure alle parti vicine non eccitate direttamente. Con tale teoria Plateau si è adoperato spiegare parecchi importanti fenomeni.

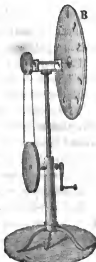


Fig. 252.

1. *Imagini e colori accidentali.* Dopo aver guardato per qualche tempo un oggetto, per esempio un disco colorato su fondo nero, se chiudonsi gli occhi o si fissano sopra un fondo bianco, continua a vedersi quel disco, ma del colore complementario: se il disco è rosso si vede verde, violetto se giallo: poi ritorna il colore primitivo, e dopo alquante alternative in ragione della intensità dell'impressione si affievoliscono e cessano le imagini. È curiosa la esperienza di Scherffer del comporsi tra loro i colori accidentali come i reali. Si guardino infatti alternamente due dischetti, uno violetto, l'altro ranciato, sopra un fondo nero: voltati poi di repente gli occhi sopra un fondo bianco, si vedranno tre dischetti, uno giallo l'altro azzurro, che sono i colori complementarii de'due primi, e uno verde nel mezzo che si compone di entrambi.

2. *Irradiazione.* Così dicesi il fenomeno del vedersi ingrandito un oggetto bianco sopra un fondo nero, e per converso impicciolito un oggetto nero sopra un fondo bianco. Alla irradiazione ad esempio è dovuta in parte la grandezza apparente degli astri.

3. *Ombre colorate di Rumford.* Innanzi alla fiamma di una candela accesa si ponga un vetro, per esempio, rosso, e si scosti l'altra finchè le due ombre d'uno stesso corpo sopra una carta bianca sieno ugualmente intense; un'ombra sarà rossa, l'altra verde.

4. *Aureola accidentale.* Guardando fissamente un oggetto colorato sopra un fondo bianco, si vedrà cinto all'intorno d'un'aureola del colore complementario.

5. *Contrasto de'colori.* È la influenza reciproca de'colori vicini.

Agli studii di Chevreul son dovute le seguenti leggi. Se i colori vicini sono complementarii, scambievolmente si ravvivano. Se al bianco o al nero si appressa un colore qualunque, questo si rafforza, il bianco e'l nero prende della tinta complementaria. Avvicinando il bianco al nero, l'uno diventa più brillante, l'altro più carico; e similmente reagiscono due oggetti di chiarezza diversa.

212. Difetti della vista. Alcune affezioni dell'occhio sono più rare, altre più comuni.

1. *Cateratta.* Consiste nella opacità del sistema cristallino': la operazione si esegue o per estrazione, o per abbassamento, o per isminuzzamento.

2. *Diplopia.* È il difetto di vedere duplicati gli oggetti o per ineguaglianza de' due occhi, o per bipartizione del fascio luminoso anche in un occhio solo. V'è pure la *triplopia*, ma rarissima.

3. *Strabismo* è la mancanza di parallelismo degli assi visuali. Al suo cominciare si veggono raddoppiati gli oggetti.

4. *Amaurosi* è la cecità per vizio massimamente nel nervo ottico.

5. *Emiopsia* dicesi il difetto di veder solo le prime e le ultime lettere d'una parola, e ciò per offesa centrale della retina, essendo sano il contorno.

6. *Acromatopsia* o *daltonismo* è il vizio di non poter giudicare di tutti o di alcuni colori.

7. *Miopia e presbiopia.* Sono due opposti difetti della vista, e i più comuni. I *miopi* ànno minore la distanza della visione distinta che un occhio sano, i *presbiopi* l'ànno maggiore; e tanto più quanto la miopia e la presbiopia sono più pronunziate.

La imagine d'un oggetto, che fosse alla distanza della visione distinta per un occhio sano, si formerebbe più avanti della retina in occhio miope. Dunque perchè la imagine si formi sulla retina, debbono cadere i raggi più divergenti, ossia l'oggetto deve avvicinarsi. Sono cagioni della miopia o viziosa struttura dell'occhio, cioè soverchia convessità della cornea o del cristallino, o pure viziosa abitudine di guardare oggetti troppo piccoli e assai da vicino, d'onde il difetto di adattamento della vista. È frequente ne' giovani, e si presume che con l'età diminuisca. Si corregge con una lente divergente: i raggi che la traversano si scostano dall'asse, allontanano il fuoco e'l portano sulla retina del miope. I primi occhiali furono costruiti in Firenze verso il 1280 dal banchiere Salvino degli Armati.

La presbiopia per l'opposto è un difetto di virtù convergente dell'occhio, comune ne' vecchi. I presbiti veggono chiaramente gli oggetti lontani, confusamente i vicini: il contrario di quel che accade ai miopi. Poichè a formarsi sulla retina la imagine d' un oggetto, debbono cadere i raggi sulla pupilla men divergenti, l'oggetto deve essere allontanato. Si corregge un tale difetto con le lenti convergenti, che avvicinano i raggi all'asse (*).

Wollaston alle lenti biconcave o piano-concave pe'miopi, e alle biconvesse o piano-convesse pei presbiti, à sostituito con vantaggio i menischi divergenti e convergenti con la concavità rivolta all'occhio. Sono essi adatti a veder bene anche gli oggetti lontani dall'asse ottico; donde il nome di *lenti periscopiche*.

Per temperare la soverchia luce si usano le lenti, o anche i vetri colorati a facce piane per un occhio normale. Nella scelta del colore si evitano quelli di estrema rifrangibilità, cioè i rossi e i violetti, e anche il giallo, ch'è più brillante; e però si preferisce il verde o l'azzurro. Ma valgono meglio i vetri leggermente anneriti, detti affumati, che assorbiscono ugual porzione de'raggi d'ogni colore, come se l'occhio fosse esposto a luce meno intensa.

APPLICAZIONI DELLA RIFLESSIONE E RIFRAZIONE DELLA LUCE.

213. **Strumenti di ottica.** Le proprietà delle lenti e degli specchi separatamente o d' accordo concorrono alla costruzione dei così detti *strumenti di ottica*. Essi àn contribuito ai progressi delle scienze, e in ispecial maniera delle naturali, con estendere oltre quanto avrebbe saputo idearsi i confini della vista agli oggetti piccolissimi e ai lontanissimi. V' à poi degli strumenti speciali per le scienze di applicazione, e di altri che ànno per iscopo istruire dilettando. Basterà occuparci de' principali fra essi.

214. **Microscopio semplice.** Ogni lente convergente può servire a vedere ingrandito un piccolo oggetto: poichè quando questo è collocato a distanza dalla lente minore di quella del fuoco principale, la sua imagine è virtuale, dritta, e più grande dell'oggetto (187). Per questa ragione dicesi *lente d'ingrandimento*. L'ef-

(*) Per mostrare sin dove giunga l'abitudine, ricordo che da giovanissimo essendo miope mi venne fatto di ridurre l' occhio allo stato normale sforzandomi di guardare da lungi il quadro in atto d'insegnar matematica.

fetto è tanto maggiore quant' è più grande la convessità, e se ne costruiscono di quelle che sono quasi interamente sferiche:cresce similmente con la virtù rifrangente della materia di che si compongono; laonde sono più attive quelle di flint o di quarzo che non di cristallo ordinario, e assai più quelle di diamante.

Ma con l'ingrandimento divengono anche maggiori gli errori di sfericità e di rifrangibilità, e per giunta più oscura si rende la imagine. Per correggere tali difetti fa mestieri di accessorii, e la lente che ne è munita prende nome di *microscopio semplice*. Esso à diverse forme:

Raspail. Il microscopio semplice di Raspail (fig. 253) componesi di tre pezzi: 1° della lente d' ingrandimento o incastrata nel centro di un diaframma metallico A internamente annerito, il quale è fissato a un sostegno orizzontale, e per mezzo d' un rocchetto a bottone D e di un'asta dentata può sollevarsi o abbassarsi; 2° del *porta oggetti* B, ch'è un anello metallico, su cui si colloca tra due lastre a facce parallele C l'oggetto; sovente sono due gli anelli che stringono in mezzo con molla le due lastre; 3° dello specchio M piano o concavo che riflette sull'oggetto la luce diffusa dell'atmosfera.

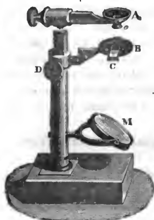


Fig. 253.

Wollaston. Ad una sola lente biconvessa Wollaston ne à sostituito due piano-convesse, collocando fra esse un sottilissimo dischetto metallico con un foro nel centro, del diametro uguale a metà della distanza del fuoco principale. A questo modo sono tolti gli errori di sfericità e di rifrangibilità.

Gaudin. La disposizione del microscopio Gaudin consiste in un tubetto di metallo cilindrico a due pezzi con vite, che stringono in mezzo le lastre coll'oggetto: una delle basi à nel centro un forellino, per cui entra la luce, dall' altra vi è un diaframma annerito per applicarvi l'occhio avente nel centro una lente a pallina.

Stanhope. La lente di lord Stanhope A (fig. 254) è formata d'un cilindro di cristallo a basi inegualmente convesse: la meno convessa è al fuoco dell'altra; laonde essendo definita la distanza fo-

cale, l' oggetto si colloca sulla prima e vi si mantiene da se. Questa lente si trasforma nel microscopio semplice B (fig. 255) aggiustandola in un tubo per evitare la luce trasversale, e applicandole un diaframma annerito per avvicinarla all'occhio.

215. **Microscopio composto.** Se ne deve la scoverta a Galilei nel 1620; e componesi essenzialmente di due lenti convergenti, i cui assi principali coincidono. Una d' esse a corto fuoco M (fig. 256) dicesi *oggettivo*, perchè è dappresso all' oggetto, l'altra N di maggiore apertura, a cui si avvicina l'occhio, si chiama *oculore*. L'oggetto AB vien collocato poco al di là del fuoco dell' oggettivo M ; e perciò dall' altro lato se ne forma la imagine *ab* reale, capovolta e ingrandita. L'occhio E attraverso l'oculare N guarda questa imagine *ab*, che fa le veci di oggetto, e ne à una seconda imagine *a' b'* virtuale e ancor più grande, la quale, perchè diritta riguardo alla prima , è rovesciata



Fig. 254.



Fig. 255.

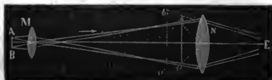


Fig. 256.

relativamente all'oggetto. L'ingrandimento totale è dato dalla relazione tra *a' b'* e AB, e presto indicheremo come vada misurato.

I microscopi composti ànno avuto diverse forme, che riduconsi comodamente a due classi, cioè microscopi *verticali* e *orizzontali*. Ne'primi l'oggettivo si unisce a vite alla estremità inferiore di un tubo di ottone internamente annerito: l'oculare dall'altro lato è pure all'estremo di un secondo tubo che striscia a sfregamento nel primo.

Microscopio verticale di Oberhaüser. Ci basterà dare a modello de'microscopi verticali quello di Oberhauser (fig. 257). La colonna B fissata sul piano A contiene un cannello cilindrico, il quale mediante una vite F cagiona i piccoli movimenti verticali del corpo dell'istrumento C, per aggiustare nel fuoco gli oggetti più dilicati. L'oggettivo M, e l'oculare N sono agli estremi di due tubi D,

H scorrevoli il secondo nel primo per regolare l'ingrandimento; e tutto il sistema può spostarsi anche a mano per accostarsi più o meno all'oggetto da osservare. Al di sotto del piano A v'è il diaframma cilindrico G con tre aperture di diverso diametro per disporre di quantità diverse di luce.

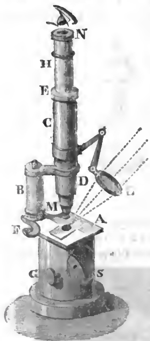


Fig. 257.

Finalmente per illuminare gli oggetti trasparenti serve lo specchio S, e per illuminare gli opachi, che debbono essere rischiarati sulla faccia rivolta all'oggettivo, vale la lente convergente L girevole in tutt' i versi, che va a formare il fuoco sull'oggetto stesso.

216. **Microscopio orizzontale.** Due perfezionamenti considerevoli sono stati arrecati al microscopio composto da appena 30 anni. Il fiorentino Amici il ridusse orizzontale e con ciò più comodo all'uso, il parigino Chevallier il rendette acromatico. La figura 258 rappresenta il microscopio modello in tale sistema. Esso componesi di due tubi G, H internamente anneriti e congiunti ad angolo retto, con l' oggettivo E a un estremo, l'oculare A all' altro. Vengono sorretti dalla colonna K e da un' asta dentata, lungo la quale mediante un rocchetto col bottone D è scorrevole il porta-oggetti BC. Con facile meccanismo può il microscopio inclinarsi come piace, togliendo cioè la vite *m* si gira comodamente sulla cerniera *a*. E se si preferisce renderlo verticale, si toglie il tubo G e si applica immediatamente il tubo H sull'oggettivo E.

Il camino de'raggi nell' interno del microscopio viene espresso dalla fig. 259. L' oggetto C è illuminato da' raggi riflessi S mediante lo specchio M se è diafano, o da' raggi S' trasmessi per la lente L se è opaco. Essi penetrano nell'oggettivo E con una due o tre lenti acromatiche, come vedesi di lato in K; poi incontrano un prisma rettangolare di limpidissimo cristallo, sulla cui ipote-

nusa inclinata di 45° all'asse si riflettono totalmente secondo l'asse del secondo tubo, e vanno sull' oculare. Questa componesi di due lenti convergenti: la prima H detta *oculare di Campani* riunendo i raggi troppo obbliqui, e correggendo il difetto di acromatismo, produce una prima imagine, che vien ridotta a *bc* ingran-



Fig. 258.

dita anche più dalla seconda lente A. La distanza focale della lente A uguaglia il terzo di quella della lente H, e la distanza fra entrambe è la semisomma delle loro distanze focali. Da ultimo due diaframmi *m*, *n*, trattenendo i raggi periferici, correggono l'aberrazione di sfericità.

217. Misura dell'ingrandimento, micrometro. Dicesi *ingrandimento* ne'microscopi e negli altri strumenti di ottica la relazione tra le grandezze della imagine e dell'oggetto. Per la teoria delle lenti si sa da quali elementi esso dipenda.

A misurarlo vale il *micrometro*, cioè una laminetta di cristallo, sulla quale sono segnati con diamante de' tratti paralleli vicinis-

simi, distanti per esempio 1/10 o 1/100 di millimetro. Eccone il metodo. Si collochi il micrometro avanti all' obbiettivo d' un microscopio verticale, e nell'atto che coll'occhio sinistro se ne guarda la imagine proiettata sulla tavola che regge l' istrumento, con

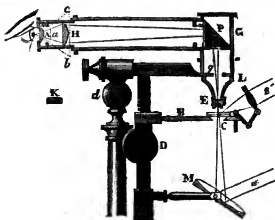


Fig. 259.

l'occhio dritto si mirano le punte di un compasso combacianti colle imagini di due tratti discosti 1/10 di millimetro. Poi si misuri l'apertura del compasso con una scala a millimetri. Si avrà l'ingrandimento moltiplicando il numero di questi millim. per 10.

Tale è l'ingrandimento lineare: il suo quadrato sarà l'ingrandimento in superficie, il cubo l'ingrandimento in volume.

I microscopi semplici ingrandiscono sino a 120 diametri: i composti vanno sino a 1500 diametri; ma allora perdono sovrammodo in chiarezza; vale meglio restringersi al più ad un ingrandimento di 600 diametri.

Due sono i pregi di un microscopio: la *penetrazione*, che corrisponde alla forza d'ingrandire, e la *terminazione*, la quale dipende dalla squisitezza delle lenti. V'à degli *oggetti di prova* che servono come tipi a saggiare la bontà dell'istrumento sotto ambo gli aspetti. Tali sono ad esempio le ali e le differenti parti del corpo dei *lepidotteri* coverte di scaglie, che ànno delle strie longitudinali.

218. Cannocchiale di Galilei, o da teatro. Dicesi *cannocchiale* o *telescopio* ogni strumento adatto a vedere da lungi, sebbene si preferisca il primo nome allorchè è formato di sole

lenti, e'l secondo allorchè di specchi insieme e di lenti. Tutti consistono in uno o più tubi internamente anneriti scorrevoli l' uno nell'altro, a cui sono applicate le lenti o gli specchi.

Non si sa veramente chi sia stato l'inventore de'cannocchiali:il certo si è che non appena il Galilei ebbe nuova in Venezia, dove a caso trovavasi,Zaccaria Yans avere offerto al principe Maurizio di Nassau tale un istrumento che avvicinava gli oggetti, ed egli in una notte valse a comporlo; la quale divinazione fruttò al sommo uomo la scoverta de'satelliti di Giove, delle montagne della luna, delle fasi di Venere, delle macchie nel Sole. Ed è maraviglioso che 30 anni dopo, cioè nel 1637, non si sapesse costruire in Olanda paese di Yans un cannocchiale atto a vedere que'satelliti.

Il cannocchiale, che porta il nome di Galilei, è semplicissimo. Si compone di due sole lenti, di un oggettivo biconvesso M (fig.260) e di un oculare biconcavo R. I raggi, che partono dai diversi punti dell'oggetto AB, traversando l' oggettivo M, andrebbero a formare la loro imagine reale e rovescia in *ba* di là dall' oculare R: ma rifrangendosi di nuovo attraverso di questa, e ridotti divergenti, vanno ad incontrare gli assi secondari *Oa*,*Ob* ne' punti *a'*, *b'*, e formano l'imagine *a'b'* rovesciata relativamente a *ba*, e perciò diritta riguardo all' oggetto AB. Inoltre quest' ultima lente è scorrevole perchè la imagine si formi sempre alla distanza della visione distinta.

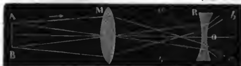


Fig. 260.

Questo cannocchiale assorbisce poca luce perchè di due sole lenti; è molto corto, poichè la distanza tra le due lenti uguaglia la differenza delle loro distanze focali, e quindi assai portatile, e mostra gli oggetti nella loro vera posizione. Ma l'ingrandimento è piccolo, cioè di due o tre diametri, quant'è il rapporto tra gli angoli *a'Ob'* e AOB: dippiù per la divergenza de'raggi dall'oculare il campo è ristretto. Al presente non si usa che per gli occhialini da teatro; i quali acquistano molta chiarezza ridotti a *binoculi* secondo la invenzione del cappuccino Cherubino da Orleans.

219. **Cannocchiale astronomico.** Keplero migliorò il cannocchiale di Galilei, sostituendo alla oculare biconcava una lente convergente. I raggi che vengono paralleli da un oggetto AB (fig. 261), poniamo da un astro, rifratti dall'oggettivo M formano

la imagine rovesciata *ba* tra la oculare N e'l suo fuoco principale, della quale mediante la oculare si à la imagine rovesciata pure e assai ingrandita *a'b'*. Adunque il sistema di lenti è identico a quello de'microscopi, ma con tal differenza che in questi l' ingrandimento è in ragione composta di quelli dell'oggettivo e dell'oculare, nel cannocchiale di Keplero dipende dalla sola oculare.



Fig. 261.

Esso è serbato alla osservazione degli astri, d'onde il nome di *astronomico*, tra perchè poco importa che la imagine ne sia rovescia, e perchè l'assorbimento di luce è tenue.

L'ingrandimento è nella ragione di CF:FO con molta approssimazione: quindi è tanto maggiore quanto più ampio e men convesso l'oggettivo, e più convesso l'oculare. Il solo ostacolo è nella costruzione de'grandi oggettivi. Purtuttavolta si è giunto a costruire de'grandi rifrattori ad oggettivi del diametro di 38 centimetri, il cui ingrandimento prodigioso va sino a 3000.

Cercatore. Un grande cannocchiale di forte ingrandimento à un campo ristretto, e mal può con esso cercarsi l'astro da osservare. Serve a tale uso il *cercatore*, ch'è un secondo cannocchiale di forza assai minore annesso al primo cogli assi paralleli.

Reticolo. Per le osservazioni di misura è prezioso il *reticolo*; consiste in due fili esilissimi incrociati ad angolo retto e tesi nel mezzo di un foro circolare in una piastrina metallica. Questa va collocata nel sito dell'imagine rovescia così, che l' incrociamento dei fili cada sull'asse ottico del cannocchiale.

220. Cannocchiale terrestre. Il P. Rheita trovò modo di raddrizzar la imagine rovescia del cannocchiale astronomico con altre due lenti P, Q (fig. 262) collocate tra l'oggettivo M e l'oculare R, d'onde il nome di cannocchiale *a quattro lenti* o *terrestre*.

In esso i raggi, che vengono dall'oggetto lontano AB, traversato l'oggettivo M, formano la imagine capovolta *ba*; poi incontrano le due lenti P, Q, fissate stabilmente in un tubo a distanza scambievole pari alla somma delle loro distanze focali: s' incrociano dunque nel fuoco comune H, e danno l'imagine raddrizzata *a' b'* ne'punti d'incontro cogli assi secondari O*a'*,O*b'* della lente Q. Da ultimo l'oculare R sostituisce ad *a'b'* l' altra imagine *a'' b''* anche dritta e ingrandita.

Il cannocchiale terrestre può servire invece dell' astronomico con una oculare di ricambio di maggiore ingrandimento. La legge dell'ingrandimento è la stessa in entrambi supponendo sia uguale la convessità delle due lenti P, Q.

Da ultimo è bene avvertire che in questo e generalmente in tut-

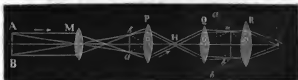


Fig. 262.

t'i cannocchiali, come anche ne' microscopi, non si adopera una oculare semplice, che cagionerebbe grandi aberrazioni di sfericità e di rifrangibilità, ma un sistema di lenti. Si conoscono tre maniere di oculari; l'una è di Campaui, che descrivemmo nel microscopio, formata di due lenti piano-convesse con le superficie piane verso l'occhio; la secouda di Ramsden pure a due lenti piano-convesse con le loro convessità una contro l'altra; la terza di Dollond a quattro lenti piano-convesse, delle quali le due prime volgono la superficie piana all'oggetto, le due seconde all'occhio.

221. Telescopi. Dopo la invenzione de'cannocchiali, e prima che si giudicasse possibile l' acromatismo, si ricorse agli specchi invece dell'oggettivo per la formazione della imagine, la quale poi veniva ingrandita dalla lente oculare. Ne surse la idea al P. Marsenne; essa fu attuata in diversi modi, e primamente da Newton. È indubitato però che a quei dì in Ragusa un simile istrumento scovriva una nave a distanza di 30 miglia.



Fig. 263.

1. *Telescopio di Newton.* Componesi d' un riflettore concavo M (fig. 263) collocato in fondo a un tubo cilindrico per modo, che l'asse CM sia comune a entrambi. Fra lo specchio M e'l suo fuoco v'è uno specchietto piano N di contorno ellittico, che si volge a quello e s'inclina di 45° all'asse. Con ciò s'intende che la imagine d'un oggetto lontano formata dallo specchio M vien ri-

flessa dallo specchietto N in *ab* impiccolita e rovescia: mediante poi la oculare *o* disposta di lato viene ingrandita in *a'b'* rimanendo rovescia.

2. *Telescopio di Gregory.* Il lieve incommodo di guardare di lato nel telescopio di Newton è tolto in quello di Gregory, il quale à pure due specchi ma concavi entrambi. Uno d' essi, il grande, à un foro nel centro, e vien collocato in fondo d'un tubo cilindrico colla faccia rivolta verso l'oggetto: il secondo assai più piccolo e di curvatura molto maggiore è sito dall'altro lato, e guarda il primo: i loro assi coincidono con quello del tubo. Il grande riflettore produce una imagine impiccolita e capovolta; il secondo la invia di nuovo secondo l'asse invertita e amplificata, e viene anche più ingrandita dall' oculare, a cui arriva mediante i raggi che traversano l'apertura centrale del grande riflettore. I due specchi possono avvicinarsi o scostarsi tra loro secondo le distanze dell'oggetto.

3. *Telescopio di Herschell.* Nel telescopio di Herschell i raggi subiscono una sola riflessione, donde assai minore è la perdita di luce. Imperocchè il grande specchio concavo è leggermente inclinato all'asse del tubo così, che la imagine venga a formarsi verso l'orlo dall'opposto lato, dove è ricevuta dall' oculare. Le dimensioni dell'istrumento di Herschell sono prodigiose: 12 metri di lunghezza, $1^m,5$ di diametro. L'ingrandimento va fino a 6000; e tante scoverte ottenne con esso John Herschell figlio da correr voce, son oltre venti anni, che avesse veduto abitanti nella luna.

Di lord Ross in Irlanda è il *cannocchiale mostro*: à lunghezza di $17^m,76$, e diametro di $1^m,83$. Il peso del solo specchio metallico è 3709 chil. e quello dell'intero istrumento 15000. Gli costò niente meno che 300000 franchi.

I telescopii a riflessione andarono in disuso per la difficoltà di costruire e conservare netti i grandi specchi metallici. La scoverta di Foucault di ottenere sul vetro per precipitazione una superficie specchiante di argento li fa di nuovo preferire ai rifrattori.

Ricordo le osservazioni della cometa di Donati da me fatte a Parigi nel 58 presso il sig. Porro col grande riflettore alla Foucault, che in nulla cedeva a'migliori rifrattori dell'osservatorio.

222. **Camera lucida.** Dicesi *camera lucida* o *chiara* un istrumento ideato da Wollaston nel 1804 e perfezionato da Amici, destinato a disegnare le imagini degli oggetti dal vero.

1. La *camera lucida di Wollaston* (fig. 264) componesi d'un pri-

sma di cristallo quadrangolare atto a scorrere verticalmente, e piegarsi in tutt'i sensi, e sorretto da un piede. Un suo angolo A è retto: l'opposto C è di 135°: ciascuno degli altri due è di 67° 30'. Poniamo che il lato AB sia rivolto a un oggetto : i raggi L*n*, che cadono perpendicolarmente, vi penetrano senza rifrangersi. Ma sulla faccia BC subiscono la riflessione totale secondo *no*; poichè l'angolo L*na* formato colla normale *an* è uguale all'angolo B per avere i lati rispettivamente perpendicolari; e perciò è maggiore dell' angolo limite del cristallo. Sulla faccia CD i raggi soffrono di nuovo la riflessione totale, e vengono secondo la verticale all'occhio, il quale vede la imagine di L in L'. Con matita può disegnarsi questa imagine su carta bianca, collocando l' occhio in modo, che la metà dell' apertura della pupilla corrisponda all' orlo del prisma e riceva i raggi dell'oggetto, l'altra metà quelli della matita. Una lente I fa che le due imagini sieno equidistanti. Finalmente Chevallier per mezzo di vetri colorati à temperato la soverchia luce o dell'oggetto o della matita; perchè se il contrasto fosse risentito, una delle due imagini sarebbe poco visibile.

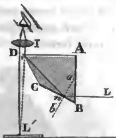


Fig. 264.

2. *La camera lucida di Amici* (fig. 265) consiste in un prisma rettangolo in B ed isoscele. I raggi incidenti LI sopra un de'lati dell'angolo retto si rifrangono secondo ID, subiscono la riflessione totale secondo DK, ed emergono nella direzione KH : riflessi poi dalla lastra *mn* formano nell' occhio O la imagine dell' oggetto L in L', la quale può essere ugualmente disegnata.

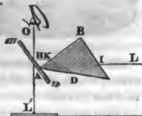


Fig. 265.

Il vantaggio di questa sulla precedente è in ciò, che l'occhio non è astretto ad una posizione determinata. Inoltre in entrambe il prisma è chiuso in fodero di metallo internamente annerito, perchè le imagini non sieno turbate da luce straniera.

223. **Camera oscura.** È comune opinione che Giambattista della Porta napolitano dopo avere scoverto nel 1680, che i raggi penetrando per angusto foro in una stanza buia vi dipingono

le imagini rovesce degli oggetti esterni, conoscesse altresì che l'apertura potea essere ampia purchè vi si collocasse una lente convergente: questa raccoglie i raggi e dà imagini chiare e ben terminate; ma in ambo i casi rovesce. Uno specchio piano le riflette sotto un angolo di 45° e le raddrizza.

Camera oscura portatile. Allorchè vuole usarsi la camera oscura a torre un disegno, fa d'uopo sia portatile: à ricevuto perciò diverse forme: la più comoda di tutte è quella della fig. 266. In essa la lente e lo specchio inclinato vengon sostituiti da un prisma rettangolare *m* (fig. 267), in cui una delle facce minori è convessa. Se questa si volge all'oggetto AB, i raggi diventano convergenti, sulla faccia maggiore del prisma soffrono la riflessione totale, ed emergendo dall'altra dipingono nel fuoco la imagine *ab* sopra una carta P. Il prisma è chiuso in tubo di ottone aperto da un lato, e vien sostenuto da un treppiede circondato da una cortina nera, che forma una specie di tenda, sotto cui si colloca il disegnatore.



Fig. 266.

224. Camera ottica. Suol dirsi *camera ottica* una specie di camera oscura, il cui effetto è l'inverso delle ordinarie. Si compone d'una piramide quadrangolare tronca di legno ad asse verticale, a cui manca una faccia: di qui entra la luce ad illuminare un disegno qualunque, per esempio un paesaggio, disposto orizzontalmente. In alto v'è uno specchio piano inclinato di 45° all'orizzonte, che riflette i raggi verso una lente convergente, al cui fuoco risponde il disegno. Guardando nella lente se ne ricevono paralleli i raggi, e la illusione è completa come se partissero dal vero.

225. Daguerrotipo. Si dà questo nome ad una camera oscura con alquanti accessorii, che servono a fissare le imagini con quella ottenute. L'arte in prima si disse *eliografia*, ma prevalse il nome di *daguerrotipia* da quello d'un de'due inventori.

Dopo la scoverta dell'azione chimica della luce molti lavorava-

no a quello scopo. Fra gli altri Niceforo Niepce e Daguerre, in prima ciascuno da se, dal 1829 in poi di accordo. Finalmente nel 1839 Daguerre pubblicò il trovato, che gli fruttò gloria, e pensione di 4000 franchi a lui e di altrettanti al figlio di Niepce: ma Niceforo era morto povero e sconosciuto sei anni prima.



Fig. 267.

Daguerrotipia su lamina. Daguerre limitavasi a fissare le imagini su lamina di rame argentata: eccone il processo con i perfezionamenti arrecativi, massimamente da Fizeau.

1. In prima fa d' uopo rendere ben forbita la faccia argentata della lamina, strofinandola con cotone bagnato di alcole e asperso di finissima polvere di tripoli: e poi con rossò inglese.

2. Si rende sensibile la lastra all'azione della luce, esponendo la superficie dell'argento in una scattola alla evaporazione del iodo finchè à preso una tinta gialla d'oro: con ciò vi si è formato uno strato di ioduro di argento. Se ne esalta la sensibilità con le sostanze dette *acceleratrici*: si espone cioè la lastra iodata al vapore d'una soluzione acquea di bromo o di bromuro di calcio, finchè à preso una tinta rossa, e poi di nuovo alla evaporazione del iodo per la metà del tempo che la prima volta. Dopo ciò si chiude la lastra in telaio con una faccia scorrevole da aprirsi al momento opportuno. Si comprende da se che tutte queste operazioni van fatte al buio, o alla luce appena d'una lampada.

3. Poi si espone la lastra nella *camera oscura*. Questa consiste in due scattole quadrangolari B, C (fig. 268): la prima scorrevole nella seconda, per variare la distanza tra l'*oggettivo* A e una lastra spolita E, e avere su questa sempre netta la imagine degli oggetti esterni inegualmente distanti. In prima l' *oggettivo* era una lente convergente acromatica: ora ne à due, e dicesi a *vetri combinati*.

con questi l' azione è più pronta, e variando la loro distanza mediante un'asta dentata e nn bottone si definisce immediatamente la posizione del fnoco, nel quale la imagine è chiara.

Allora alla lastra E si sostituisce il telarino con la lamina preparata : si scovre la faccia sensibile, e si aspetta presso a 15', se non si usarono sostanze acceleratrici, 20 a 40 secondi con esse, a norma della intensità della luce; e si richinde il telarino.

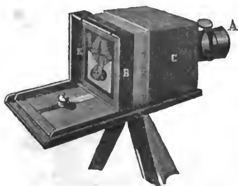


Fig. 268.

4. Tolta la lastra dalla camera oscura sembra inalterata. La imagine però vi è dipinta d'una maniera invisibile. Apparisce per gradi con esporre la lamina inclinata di 45° al mercnrio riscaldato a 70° circa. I vapori di mercnrio si combinano all'argento, e più o meno in ragione della intensità della luce. Emerge dnnque la imagine dalle tinte chiare dell'amalgama corrispondenti a' punti più illuminati dell' oggetto, e dalle oscure dell' argento brunito.

5. Da nltimo convien *fissare la imagine*, levarne cioè tutte le sostanze sensibili alla luce, senza che col tempo annerirebbe. Ciò si ottiene lavando la lamina con solnzione d'iposolfito di soda, e poi con acqua stillata. E poichè lo strato di amalgama poco aderisce alla lastra a segno che con leggiero stropicclo si stacca, e inoltre la imagine per soverchia virtù riflettente non è visibile che in un senso di lnce, Fizeau versa snlla lamina nna solnzione di clorнro d'oro e leggermente la riscalda sino a secchezza. Si scioglie così alquanto d'argento, e l'oro combinandosi al mercurio e all'argento accresce l' adesione, e rendendo anche più spiccate le differenze tra i chiari e gli oscuri aggiunge lucentezza alla imagine.

226. **Fotografia su carta e su vetro.** L' inglese Talbot sin dal 1834 era riuscito a fissare su carta le imagini della camera oscura; ma poi importanti perfezionamenti dovuti a parecchi *elio-*

grafi, sovrattutto a Niepce di Saint-Victor nipote di Niceforo, àn ridotto la fotografia, diciam così, alla moda.

Tutto il processo consiste in due operazioni distinte. Colla prima si ottiene nna *imagine negativa*, così detta perchè le tinte chiare dell'oggetto sono oscnre, e viceversa. Mediante la negativa si rileva poi la *imagine positiva*, in cni le tinte sono novellamente invertite, e perciò corrispondono al vero.

Imagine negativa. L'imagine negativa può formarsi su carta o su vetro: si preferisce la carta pe'paesaggi, il vetro pe'ritratti.

Sul vetro ben netto e tenuto orizzontalmente si versi in prima il collodio misto a soluzione di ioduro di potassio. Fattone colare il liquido eccedente, s' immerge il vetro in nna soluzione di azotato d'argento in 10 parti d'acqna, con che il ioduro di potassio si trasforma in ioduro d'argento. Questo è sensibile all'azione della luce, e però la lastra può esporsi nella camera oscnra.

Se 'n toglie quando l'azione non è protratta a segno da apparire la imagine, e s' immerge in solnzione di acido pirogallico leggermente riscaldata. L'acido combinandosi all'argento nelle parti illuminate, dove il iodnro fu scomposto, forma il gallato d'argento ch'è nero: gli oscnri della imagine restano bianchi. Si toglie in ultimo il ioduro di argento con la solnzione d'iposolfito di soda.

Per le negative sn carta, bagnatala prima in soluzione di ioduro di potassio, poi di nitrato d'argento, ancora nmida si stringe tra due vetri a facce parallele, e si espone nella camera oscnra. Nel rimanente si nsa all'istesso modo l'acido gallico, e l'iposolfito.

Imagine positiva. La prova negativa sn carta o su vetro può servir di matrice a produrre nn nnmero indefinito d'imagini positive. Si bagni nna carta con soluzione di clornro di sodio o ammonio, e poi di nitrato d'argento, e nmida si sovrappone alla prova negativa; si stringono entrambe tra due lastre e si espongono al sole in modo che la negativa sia rivolta alla lnce. Con ciò i pnnti della seconda carta corrispondenti ai chiari della negativa si anneriranno, e resteranno chiari i punti sottoposti alle ombre; donde la imagine positiva. Si lava al solito con la soluzione d'iposolfito.

Applicazioni. Nel riprodnrre con somma facilità ogni maniera d'oggetti la fotografia à ricevuto estesissime applicazioni. Oltre alle vedute stereoscopiche di monnmenti di natura, e di opere d'arte, son da notare le microscopiche. Un palagio, un paese, nn orizzonte esteso restriugonsi fotograficamente nel circuito d'un millimetro,

e poi si osservano a bell' agio col microscopio. Sono immensi i vantaggi che ne à tratti specialmente l'astronomia.

227. **Lanterna magica.** È un istrumento di diletto ideato dal Kircher, e consiste in una scattola di legno o di latta internamente annerita (fig. 269). Dal fondo uno specchio concavo A (fig. 270) riflette la luce d' una lampada su una lente convergente B,

Fig. 270.

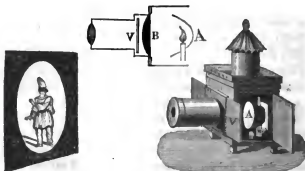


Fig. 269.

e questa la concentra sopra un oggetto dipinto al rovescio sulla lastra V. I raggi partendo dall' oggetto fortemente illuminato cadono sopra una seconda lente convergente C, o sopra un sistema di due lenti operanti come una sola ; e poichè la distanza tra oggetto e lente è poco maggiore di quella del fuoco principale, vanno a formare sopra una tela bianca la imagine reale e ingrandita.

Fantasmagoria. Misura dell'ingrandimento nella lanterna magica è la ragione delle distanze del sistema convergente C dall'imagine e dall'oggetto. Nella fantasmagoria entrambe sono variabili, ossia mentre la lente C si accosta all' oggetto V, tutto l' apparato mobile sopra carrucole si allontana dalla tela. La imagine dunque s'ingrandisce e sembra avvicinarsi agli spettatori, i quali provano completa la illusione, poichè sono dall'altro lato.

Megascopio. Così dicesi una specie di lanterna magica, che serve a vedere assai ingrandito un oggetto opaco in rilievo, come una medaglia o un fantoccio. Questo vien collocato nel fondo, e a'due lati due lampade ne illuminano fortemente la faccia anteriore.

Poliorama e vedute solubili. Un sistema di due lanterne magi-

che uguali, che proiettano le loro imagini sulla stessa tela, costituisce il *poliorama*. Vengono illuminati i loro oggetti alternamente e per gradi; con che sparisce lentamente una imagine per dar luogo ad un'altra. Queste vedute, che diconsi *solubili*, il succedere ad esempio a un mar tranquillo una tempesta, al Vesuvio in calma una eruzione, a un tramonto di sole il sorgere della luna, producono una impressione maravigliosamente incantevole.

Diorama. Questo meccanismo inventato da Daguerre consiste in una tela con due vedute sulle facce opposte, le quali alternamente illuminate e con artifizio nascosto si veggono successivamente, l'una per riflessione, l'altra per trasmissione.

228. **Microscopio solare.** Il *microscopio solare* (fig. 271)

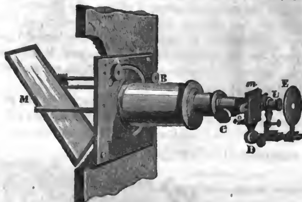


Fig. 271.

è una specie di lanterna magica ordinata a ingrandire oggetti piccolissimi illuminati dalla luce diretta del sole. Lo specchio esterno M riflette costantemente i raggi secondo l'asse dell'istrumento. Veramente dovrebbe impiegarsi a tale uso l'*eliostato*, nel quale il riflettore à moto continuo mediante un meccanismo d'orologeria, e si volge così da dare sempre il raggio riflesso secondo la medesima direzione. Ma pel suo grave costo gli si sostituisce a un dipresso collo stesso effetto un moto a mano per mezzo de' due bottoni A,B; col primo gira lo specchio intorno l'asse del microscopio, col secondo s'inclina più o meno al piano delle lenti.

L'istrumento dalla parte interna si compone di due tubi scorrenti uno nell'altro, con agli estremi due lenti convergenti: que-

ste concentrano i raggi nel fuoco *o*, dov'è l'oggetto tra due vetri stretti da lamine metalliche spinte da molle. Dell'oggetto così fortemente illuminato e sito quasi nel fuoco d'una ultima lente L piccolissima e molto convergente, si va a formare la imagine in grandi dimensioni sul muro di rincontro. Due viti C, D servono a variar le distanze tra le lenti in modo, che l'oggetto sia sempre al fuoco, e la imagine si formi ben terminata.

L' ingrandimento del microscopio solare si definisce collocando nel sito dell'oggetto un micrometro, e poi misurando nella imagine l'intervallo tra due tratti successivi.

I raggi solari termici troppo intensi altererebbero in pochi istanti l'oggetto. Si toglie quest'inconveniente frapponendo nel loro passaggio una soluzione satura di allume, che gli assorbe.

Microscopio foto-elettrico, e a gas. Alla luce solare, di cui non sempre si può disporre, fu sostituita in prima la luce del gas ossidrogeno,e con più vantaggio l'arco luminoso prodotto da forte pila tra due carboni. Un *regolatore* fa che la luce sia sempre nel fuoco del sistema lenticolare.

229. **Goniometri a riflessione.** Misura assai più precisa degli angoli diedri de' cristalli si ottiene co' goniometri a riflessione anzichè con l'altro di *applicazione* descritto nel libro II. Ci basterà esporre quelli di Babinet e di Wollaston.

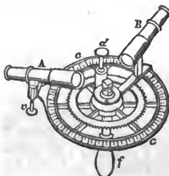


Fig. 272.

Goniometro di Babinet. Si compone d'un cerchio *cc* (fig. 272) diviso a mezzi gradi, che si tiene orizzontale a mano, o sorretto dal piede *f*. È munito di due cannocchiali A, B, coi loro assi diretti al centro: il primo A è fisso, e mediante una vite *v* può solo inclinarsi in un piano verticale: il secondo B può scorrere attorno alla circonferenza. Entrambi ànno al fuoco del loro oculare due fili ad angolo retto. Nel centro v'è un porta-oggetti *e* su cui con cera o altrimenti si aggiusta il cristallo; e può girare mediante l'alidada *d* intorno l'asse.

Per misurare l'angolo delle facce, per esempio *xy*, se ne colloca lo spigolo perpendicolare al piano *cc*, e parallelo a un de' fili

de' cannocchiali. Poi si gira il cristallo in modo che la faccia x rifletta la imagine de' fili del cannocchiale A, e si colloca il cannocchiale B così da vedere quella imagine riflessa. Ben definite queste posizioni, si gira il cristallo, finchè la seconda faccia y rifletta ugualmente la imagine che la prima. L'angolo di rotazione sarà il supplemento dell'angolo diedro cercato; ossia due retti meno l'altro.

Goniometro di Wollaston. È un gran disco verticale *a* (fig. 273) munito del nonio *d*, e girevole intorno a un asse bucato mediante l'anello *g*: esso può eseguire anche piccoli movimenti e fermarsi mediante il cerchio dentellato *j*, le due viti *h*, *k*, e la mascella *i*. Attraverso il primo asse ne passa un secondo, che può rotare mediante il bottone *bb*, e dall'altro lato finisce con una piastrina metallica annerita, su cui si aggiusta con cera il cristallo da misurare.

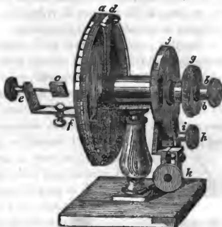


Fig. 273.

Quest'istrumento deve usarsi avendo di rincontro un edifizio bene illuminato, dove sieno parecchie linee orizzontali, per esempio i piombi di una finestra. Si porti dunque lo zero del nonio sullo zero del cerchio graduato, e poi si disponga il cristallo in maniera, che le riflessioni sopra una prima e una seconda faccia riducano a perfetto combaciamento la imagine riflessa di una di quelle linee orizzontali sopra una inferiore guardata direttamente. Ciò si ottiene spostando con replicati saggi l'asse del cristallo per mezzo della leva zancata *ef*. E si conchiude come prima che l'angolo di rotazione è supplemento dell'angolo del cristallo.

DOPPIA RIFRAZIONE.

230. **Sostanze birifrangenti.** Erasmo Bartolino nel 1660 si avvide che un oggetto guardato attraverso un cristallo di *spato d'Islanda*, ch'è calcite limpida, apparisce duplicato; ossia che un pennello di luce in traversarlo si divide in due. Poi si scovrì tale proprietà in tutt'i corpi cristallizzati in sistema diverso dal cubo: al fenomeno si diè il nome di *rifrazione doppia*, e *birifrangenti* si dissero le sostanze che il presentano.

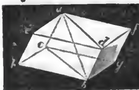
I liquidi e i gas sono privi della doppia rifrazione; ma le sostanze non cristallizzate, e i cristalli appartenenti al sistema del cubo possono divenire birifrangenti, se acquistano diversa densità ed elasticità secondo le varie dimensioni, mediante per esempio la compressione, o il riscaldamento, o un rapido raffreddamento. Infatti Fresnel dispose in serie uno accanto all'altro i prismi triangolari equilateri di cristallo *a*, *a*, *a*, *a* (fig. 274), con le facce inferiori in uno stesso piano: sovrappose ad essi i tre simili prismi *b*, *b*, *b*, e completò il parallelepipedo co' mezzi prismi *c*, *c*. Il sistema non è birifrangente, ma diviene tale stringendone fortemente con morsa i due estremi.



Fig. 274.

231. **Cristalli a un asse e a due.** In tutt'i cristalli birifrangenti v'è una sola direzione, o due, secondo cui penetrando il raggio di luce non si birifrange. Quella direzione dicesi *asse ottico* del cristallo, e con poca proprietà *asse di doppia rifrazione*. V'à dunque de' *cristalli a un asse*, e dei *cristalli a due assi*.

Lo spato d'Islanda à un solo asse. La sua forma ordinaria, ch'è anche forma di clivaggio, è un romboedro (fig. 275) con due angoli solidi ottusi, e sei acuti: ne'primi la inclinazione delle facce è di 105°, 5', ne' secondi di 74°, 55'. La retta *ab*, che unisce i vertici degli angoli ottusi è l'*asse ottico*. Può verificarsi tagliando una lamina di spato con le facce opposte perpendicolari all'asse *ab*; poichè ogni raggio che cade perpendicolarmente sulla lamina, cioè secondo l'asse, produrrà una sola imagine.


Fig. 275.

Legge di Brewster. Brewster à scoverto che *ne' cristalli a un*

asse ottico, questo coincide coll' asse unico cr istallografico. Lo spato d'islanda ne somministra una prova.

232. **Leggi della doppia rifrazione ne' cristalli a un asse.** 1.ª *Variando le incidenze, un solo de' due raggi rifratti serba le leggi della rifrazione semplice*, e si chiama *roggio ordinario*, l'altro dicesi *straordinario*.

Infatti si sovrapponga un cristallo di spato ad un punto bianco *o* (fig. 276) segnato sopra un fondo nero. Il raggio birifratto secondo *oe* ed *oi* produce nell' occhio due imagini nelle posizioni *o'* ed *o''*. Se poi si gira il cristallo intorno all'asse verticale rimanendo costante la incidenza, la imagine *o'* resta immobile, ma la imagine *o''* gira intorno a quella; e dippiù ora le si avvicina, ora se ne allontana. Adunque

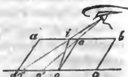


Fig. 276.

il raggio rifratto *oi* non rimane nel piano d'incidenza *abcd*, e neppure è costante la ragione del seno d'incidenza al seno di rifrazione. La imagine *o''* è *straordinaria*, *o'* è la *ordinaria*.

2.ª *Allorchè il piano d'incidenza è una sezione principale del cristallo, il raggio straordinario osserva la prima legge della rifrazione semplice.*

Dicesi *sezione principale* quella, che passa per l'asse normalmente ad una faccia del cristallo. Se con essa coincide il piano d' incidenza, il raggio straordinario vi rimane. Infatti si sovrapponga un romboedro di spato ad un tratto nero segnato sopra una carta: se ne vedranno generalmente due imagini; cioè due rette parallele; ma girando il cristallo, la loro distanza cangia, e quando il piano d'incidenza coincide colla sezione principale, le due imagini si sovrappongono e apparisce un tratto solo.

3.ª *Allorchè il piano d'incidenza è una sezione del cristallo perpendicolare all'asse, il raggio straordinario osserva anche le leggi della rifrazione semplice.*

Adunque in tal caso anche il raggio straordinario à un *indice di rifrazione*. Per alcuni cristalli l'indice straordinario è maggiore dell'ordinario, per altri è minore. Biot disse *attrattivi* i primi, *ripulsivi* i secondi; e Brewster chiamò quelli *positivi*, questi *negativi:* la prima denominazione à luogo nel sistema dell'emissione, la seconda in quello delle vibrazioni.

4.ª *La velocità del raggio ordinario è costante, variabile quella*

dello straordinario: la differenza de' loro quadrati è proporzionale al quadrato del seno dell'angolo, che il raggio straordinario contiene coll' asse.

233. **Leggi ne'cristalli a due assi.** La doppia rifrazione ne'cristalli a due assi è più complicata: eccone le leggi.

1.ª *Nessuno de' due raggi rifratti osserva in generale le leggi della rifrazione semplice.* Epperò guardando un oggetto attraverso una lamina birifrangente a due assi, e girandola nel suo piano, si vedranno rotare ambe le imagini.

2.ª *Se il piano d'incidenza è perpendicolare alla linea media degli assi, un de' raggi rifratti è soggetto alle leggi della rifrazione semplice: se poi è perpendicolare alla media supplementare, le osserva l'altro.*

3.ª *L'angolo degli assi varia da una specie cristallina all' altra, e nessuno di essi coincide mai con alcuno degli assi cristallografici.*

Dicesi *linea media* quella, che divide a metà l'angolo de'due assi, la *media supplementare* divide a metà il suo supplemento.

Elenco di cristalli a un asse negativi.

Spato d' Islanda	Rubino	Apatite
Tormalina	Smeraldo	Idocrasia
Corindone	Mica (di Kariat)	Cinabro
Zaffiro	Prussiato di potassa	Molibdato di piombo

positivi

Zircone	Ghiaccio	Idrato di magnesia
Quarzo	Apofillite	Diottasio
Stannite	Boracite	Argento rosso

Cristalli a due assi.

Arragonite	Solfato di nichelio	Carbonato di barite
Solfo	» calce	» stronziana
Topazio del Brasile	» magnesia	» potassa
Borace	» barite	» soda
Salnitro	» zinco	Prussiato di potassa
Zucchero di canna	» stronziana	Feldspato
Mica	» potassa	Acido tartarico
Lepidolite	» ferro	Tartrato di potassa

POLARIZZAZIONE DELLA LUCE.

234. **Luce ordinaria e luce polarizzata.** Un raggio di luce *ordinaria* presenta i fenomeni esposti sin quì: si riflette e si birifrange con leggi certe indipendentemente dalla posizione dei corpi che incontra. Luce *polarizzata* fu detta da Malus, che ne fu lo scovritore nel 1810, quella che in determinate condizioni riflessa una volta, o rifratta o birifratta, non è più atta a riflettersi e a birifrangersi. È tolto il nome di *polarizzazione* dalla ipotesi di Newton, il quale per ispiegare i fenomeni della doppia rifrazione nel sistema dell'emissione ammise de' poli nelle molecole luminose le quali fossero modificate dal cristallo birifrangente così, che tutte le faccette attrattive si volgessero da un lato, le inerti dall'altro; e qualche cosa di somigliante avverrebbe nella riflessione, e nella rifrazione semplice.

Adunque v'à tre mezzi a polarizzare la luce: cioè riflessione, rifrazione semplice, doppia rifrazione.

235. **Polarizzazione per riflessione.** Se un raggio di luce ordinaria si riflette sopra una lastra di vetro nero formando con essa un angolo di 35°, 25', cioè con la normale un angolo di 54°, 35', non è più atto a riflettersi sopra una seconda lastra allorchè il secondo piano d'incidenza è perpendicolare al primo. Ugualmente se questo raggio riflesso si fa cadere sopra un cristallo birifrangente, per esempio di spato d'islanda, darà una sola imagine quante volte la sezione principale di questo è parallela o perpendicolare al piano di riflessione. Tutto ciò vuol dire che quel raggio si è *polarizzato per riflessione*.

Il piano d'incidenza dicesi *piano di polarizzazione*; ed *angolo di polarizzazione* quello che il raggio incidente fa con la superficie riflettente allorchè la maggiore quantità di luce si polarizza.

L'*ongolo di polarizzazione* è vario per le diverse sostanze: per l'acqua e per l'olio di pesce 37,° pel vetro 35,° 25', per l'ambra 34,° 30', per la ossidiana 33,° 30', pel quarzo e per la baritina 32,° pel topazio 31,° pel solfo 30°, pel diamante 22.°

Anche la *virtù polarizzante* è diversa per le varie sostanze: minima ne' metalli, grande nel vetro, nella ossidiana, ne' marmi, nelle vernici nere.

236. **Apparato di Biot.** Per eseguire tutte le esperienze di

polarizzazione si presta benissimo il grande apparato di Biot (fig. 277). È un tubo di ottone A mobile in tutt' i sensi sopra un piede C: agli estremi v'à due tamburi B, B' girevoli con dolce strofinio intorno l' asse del tubo, a'quali sono sospesi due riflettori piani di vetro D, D' atti a inclinarsi come piace all' asse del tubo. L' angolo, che essi formano con l'asse, è misurato dai due cerchi graduati E, E' : la rotazione poi de' tamburi B, B', e però l' angolo dei due riflettori è dato da' cerchi graduati F, F'. Inoltre nel centro del tubo A v'è un diaframma forato, che lascia passare solamente i raggi che vanno secondo l'asse; e finalmente K è un porta-oggetti mobile, nel quale son collocati i cristalli, su cui in parecchi casi si sperimenta. Vedonsi di lato la *pila di lastre* I, la *tormalina* H, ed il *prisma birifrangente* G, de'quali accessori presto diremo.

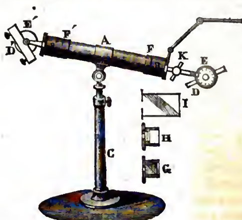


Fig. 277.

Ciò posto, s'inclinino i due specchi D, D' di 35°, 25' all' asse del tubo; e girando per gradi il tamburo B' si vedrà, che lo specchio D' riflette il massimo di luce allorchè è parallelo allo specchio D; la imagine poi si affievolisce per gradi, e si estingue all' in tutto allorchè i loro piani sono perpendicolari.

Inoltre al secondo specchio D' si sostituisca un tamburo con entro un prisma di spato d'islanda: allorchè questo compie una rotazione intorno l'asse del tubo, quattro volte si vedrà una sola imagine, quando cioè la sezione principale dello spato è perpendicolare o parallela al piano di riflessione ossia di polarizzazione. Nelle posizioni intermedie le imagini de'due raggi rifratti ànno diversa intensità, e sono uguali allorchè l'angolo de'due piani è 45.°

237. Polarizzazione per semplice rifrazione. Se un fascio di luce ordinaria cade sotto l'angolo di polarizzazione sopra una lastra diafana, per esempio, di vetro a facce parallele, ne sarà

in parte riflesso, in parte rifratto : la luce rifratta è parzialmente polarizzata in un piano perpendicolare al piano di riflessione. Laonde sovrapponendo l'una all'altra parecchie lastre diafane, la luce che à traversata la prima imbattendosi sulla seconda sarà di nuovo in parte riflessa, in parte rifratta e polarizzata, e così di seguito, finchè tutta la luce rifratta venga polarizzata in un piano perpendicolare al piano di riflessione. Quel sistema dicesi *pila di lamine di vetro*.

Esperienza. Nell' apparecchio di Biot al riflettore D si sostituisca la pila I in modo, che il fascio rifratto penetri secondo l'asse nel tubo A, e non vi sarà luce riflessa dallo specchio D' quando esso è parallelo al piano d'incidenza sulla pila, sibbene allorchè sono perpendicolari.

Legge di Brewster. Numerose ricerche di Brewster ordinate a definire il numero delle lamine necessarie a polarizzare completamente il fascio rifratto lo ànno condotto alla seguente legge:

Allorchè un pennello luminoso è riflesso e rifratto da uno stesso corpo, la porzione di luce polarizzata per riflessione pareggia quella polarizzata per rifrazione.

Di quì si è avuto dritto a inferire la conseguenza seguente: che un pennello di luce naturale può considerarsi composto di due parti eguali polarizzate ad angolo retto.

238. **Polarizzazione per doppia rifrazione.** Ambo i raggi in cui la luce ordinaria si divide attraverso un cristallo birifrangente, sono trasformati in luce polarizzata: *il raggio ordinario è polarizzato in un piano parallelo alla sezione principale, il raggio straordinario in un piano ad essa perpendicolare.*

Esperienza. Nell'apparecchio di Biot al riflettore D si sostituisca un cristallo di spato in modo, che un raggio di luce dopo averlo traversato perpendicolarmente vada a cadere sullo specchio D' formando con esso l'angolo di 35,° 25'; al rotare dello specchio, se la sezione principale del cristallo è parallela al piano di riflessione, si vedrà una sola imagine per riflessione, ed è quella del raggio ordinario: lo sparire dunque del raggio straordinario dimostra che esso è polarizzato in un piano perpendicolare alla sezione principale. Se poi la sezione principale è perpendicolare al piano di riflessione, sparisce il raggio ordinario: questo dunque è polarizzato nel piano stesso della sezione principale.

Cristalli birifrangenti sovrapposti. Dalle cose dette è agevole in-

tendere l'esperimento di Huyghens de'due romboedri di spato o di altri cristalli birifrangenti sovrapposti. Guardando attraverso essi un punto nero sopra una carta, se ne veggono in generale quattro imagini di varia intensità: ma girando il secondo cristallo, quattro volte per una intera rotazione se ne veggono due sole, quando cioè le sezioni principali sono parallele o perpendicolari tra loro; e sono tutte quattro di uguale intensità allorchè le sezioni principali formano tra loro un angolo di 45.°

239. **Polariscopii o analizzatori.** Si dà questo nome agli arnesi atti a scovrire se un pennello di luce è polarizzato, e in qual piano. È chiaro essere tali il riflettore di vetro nero, un cristallo di spato, la pila di lastre. Ma fa mestieri anche descriverne degli altri, che sono usitatissimi, cioè la *tormalina*, la *lente dicroscopica*, il *prisma birifrangente*, il *prisma di Nicol*.

1. *Tormalina*. Una lamina di tormalina tagliata parallelamente all'asse à virtù di assorbire la luce polarizzata in un piano parallelo alla sua sezione principale. Si fissi dunque in un anello che le permetta di girare nel suo piano: se per una intera rotazione rimane costante la intensità della luce che la traversa, questa non è polarizzata: non così se cangia di forza. Il piano di polarizzazione è quello dell'asse della tormalina e del raggio visuale, allorchè la intensità della luce è minima o nulla.

Le tormaline brune sono attivissime, comecchè non arrivino a un millimetro di spessezza: le verdi e le azzurre assorbono meno. Le lamine di mica di 2 a 3 millimetri producono lo stesso effetto allorchè sono traversate dalla luce obbliquamente.

Di tale virtù della tormalina la cagione è la seguente. Essa è polarizzante per rifrazione come una pila di lastre, ed è birifrangente. Assorbe dunque i raggi polarizzati in un piano parallelo alla sezione principale. Epperò se taglisi a prisma un cristallo di tormalina con gli spigoli paralleli all'asse, l'occhio collocato verso lo spigolo vede due imagini d'un oggetto, ch'è di là; ma più dappresso alla base ne vede una sola, cioè la straordinaria, perchè quivi la tormalina è abbastanza doppia per assorbire il raggio ordinario.

Similmente se un cristallo di tormalina piuttosto doppio si taglia con due facce perpendicolari all'asse e due parallele, esso sarà opaco guardando per le due prime, trasparente per le seconde; poichè nel primo caso la luce che lo traversa è polarizzata in un piano che passa per l'asse.

Da ultimo un sistema di due sottili lamine di tormalina parallele all'asse e sovrapposte, è diafano quando le sezioni principali sono parallele fra loro, è opaco se perpendicolari. Nel secondo caso la prima lamina è polarizzante, la seconda assorbente.

2. *Lente dicroscopica.* La usò Haidinger mineralogista tedesco per iscovrire sovrattutto la luce *parzialmente polarizzata.* È un romboedro di spato (fig. 278) fissato mediante anello di sughero entro un tubo metallico hh con gli spigoli paralleli all'asse del tubo. Questo è chiuso a un lato dal disco *aa* con un foro *o* al centro, pel quale entra la luce; dall'altro lato v'è un tamburo *a'a'* con un foro oculare, e nell'interno una lente biconvessa acromatica. Ciò posto, applicando l' occhio alla lente si vedranno due imagini del foro *o* separate, se la relazione tra il diametro del foro e la spessezza dello spato è conveniente; le quali conservano la stessa intensità girando l'istrumento intorno l'asse, allorchè la luce incidente non contiene luce polarizzata: altrimenti girando per un verso o per l'altro, si andrà indebolendo man mano una o l'altra delle due imagini (fig. 279).



Fig. 278.

3. *Prisma birifrangente.* Per ottenere più separate le imagini de' cristalli birifrangenti, se ne compongono de' prismi, massime con lo spato o col quarzo. Gli spigoli del prisma debbono essere paralleli o perpendicolari all'asse ottico; e dippiù fa bisogno acromatizzarlo con un secondo prisma di vetro disposto inversamente, affinchè se la luce incidente non è semplice non vi sia dispersione.


Fig. 279.

Il prisma va collocato in un tubo, e si gira intorno al suo asse. Se la luce incidente è polarizzata, quattro volte per un'intera rotazione si vede una sola imagine; allorchè la sezione principale è parallela al piano di polarizzazione si vede la sola imagine ordinaria, e quando è perpendicolare la sola straordinaria.

4. *Prisma di Nicol.* Si divida in due un romboedro di spato con piano, che sia perpendicolare a quello delle maggiori diagonali delle basi opposte, e passi pei vertici ottusi più vicini; poi di nuovo si congiungano le due metà frapponendovi del balsamo del Canadà. Questo parallelepipedo à il nome di *prisma di Nicol.*

Poichè l'indice di rifrazione del balsamo del Canadà è minore dell'indice ordinario dello spato, e maggiore dello straordinario, ne segue che il raggio ordinario penetrando nel prisma soffre alla superficie di unione la riflessione totale, e solamente passa il raggio straordinario. Il prisma di Nicol agisce dunque come una lamina di tormalina; o altrimenti non lascia passare che la luce polarizzata nel piano della sezione principale.

240. **Polarizzazione rotatoria.** Si è chiamata *polarizzazione rotatoria* o *circolare* un fenomeno scoverto nel 1811 da Seebeck e da Arago nel quarzo, e poi studiato da Biot. Se un raggio polarizzato traversa una lamina di quarzo tagliato perpendicolarmente all'asse, ne emerge sì polarizzato ma in un piano diverso dal primitivo. Alcuni saggi il fanno deviare a dritta, altri a sinistra. Marbach à scoverto questa proprietà in alquanti clorati e bromati. Anche parecchi liquidi, e molte soluzioni la posseggono, ma in grado assai più debole: ad esempio la soluzione concentrata di zucchero di canna è 36 volte meno attiva del quarzo.

Le sostanze, che producono la rotazione *a dritta*, si chiamano *destrogire*, come la soluzione acquosa di zuccaro di canna, la essenza di limone, la soluzione alcolica di canfora, la destrina, l' acido tartarico: *levogire* quelle che a sinistra, come lo zuccaro d' uva, l'essenza di trementina e di lauro, la gomma arabica.

Leggi. Sono tutte dovute alle ricerche di Biot.

1.ª *La rotazione del piano di polarizzazione è varia pe' diversi colori semplici: cresce con la rifrangibilità.* Eccone i valori per una lamina di quarzo di un millimetro.

rosso 19,° ranciato 21,° giallo 24°, verde 28,° azzurro 32,°
indaco 36,° violetto 41.°

2.ª *Per un medesimo colore semplice, e con lamine d' uno stesso cristallo, la rotazione è proporzionale alla grossezza.*

3.ª *Sia a dritta, sia a sinistra, la rotazione è sensibilmente la stessa per la medesima grossezza di lamina.*

Apparati di Biot, e di Soleil. La rotazione impressa al piano di polarizzazione da una soluzione contenuta in un tubo è proporzionale alla lunghezza del tubo, e al grado di sua concentrazione. Di quì la idea dell'ordigno di Biot per definire la quantità di zucchero negli sciroppi e negli altri liquidi zuccherini.

Il *saccarimetro* di Soleil è destinato al medesimo uso; esso però è fondato non già sulla misura diretta della deviazione del piano di

polarizzazione, sibbene sulla spessezza richiesta in un sistema di due lamine di quarzo operante la deviazione opposta per distruggere o *compensare* la deviazione prodotta dalla soluzione. Perciò a quel sistema di lamine si dà nome di *compensatore*.

Non altrimenti va misurata la quantità di zucchero, che si contiene nell'urina de' *diabetici*, la quale devia il piano di polarizzazione a dritta, come lo zucchero di canna.

241. Virtù rotatoria delle potenti calamite. Nel 1845 Faraday scovrì che una forte calamita esercita tale azione su parecchie sostanze diafane, che quando un raggio polarizzato le traversa secondo la direzione de' poli di quella, il piano di polarizzazione ne rimane deviato a dritta o a sinistra dipendentemente dalla posizione de' poli.

Se ne fa la esperienza mediante due validissime elettro-calamite M, N (fig. 280) a cilindri cavi sostenute orizzontalmente da due

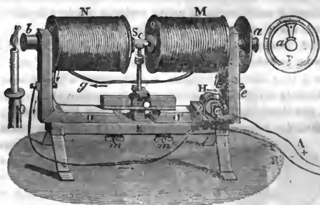


Fig. 280.

squadre di ferro O, O', che possano strisciare per avvicinarsi o scostarsi sopra un cavalletto K, e fermarsi con le viti m, m'. A'due estremi v'à due prismi di Nicol b, a; il primo polarizza la luce di una fiamma, che è bene riducasi semplice facendola passare attraverso un vetro colorato in rosso dall'ossido di rame: il secondo agisce da analizzatore, potendo girare intorno l'asse dell'istrumento per mezzo di un'alidada P, come di lato nella figura.

Per rendere attive le elettro-calamite si usa una corrente di 10 a 12 pile Bunsen, la quale da A entra nel *commutatore* H, penetra

per *e* in M e per *g* in N; da ultimo pel filo *i* ritorna al commutatore, e per B alla pila.

Ciò premesso,ecco il metodo dell' esperienza.Sieno i due prismi di Nicol *b*,*a* colle sezioni principali perpendicolari tra loro, e l'indice del secondo sullo zero del cerchio graduato: con ciò il prisma *a* estingue tutta la luce trasmessa per *b*. Poi si sospende tra i poli Q, S, un parallelepipedo *c* di *flint pesante* (boro-silicato di piombo); e neanco vedesi luce finchè il circuito non è chiuso. Ma in passar la corrente si vede apparire, e per estinguerla convien girare il prisma *a* a dritta o a sinistra secondo la direzione della corrente nella elettro-calamita. La rotazione che fa d' uopo imprimere al prisma misura quella del piano di polarizzazione.

Secondo Faraday il fenomeno sarebbe dovuto ad un'azione immediata del magnetismo sulla luce; ma sembra più probabile la opinione di Biot e di Edmondo Becquerel, che lo attribuiscono ad una influenza sulla materia ponderabile frapposta; tanto più che il secondo d' essi à scoverte molte sostanze solide o liquide ugualmente attive che il vetro di Faraday.

212. Imagini colorate prodotte dalla polarizzazione rotatoria. Se penetra in un tubo secondo l' asse un fascio di luce bianca polarizzata, e poi traversa una lamina di quarzo tagliata perpendicolarmente all' asse e grossa alquanti millimetri, guardando dall'altro lato con un prisma birifrangente, si vedranno due imagini vivamente colorate (fig. 281). Sono esse più o meno discoste secondo la inclinazione della faccia del prisma al raggio, cioè all' asse del tubo; ma sempre in parte si sovrappongono. Girando poi il prisma intorno l' asse, le loro tinte si cangiano; costantemente il colore dell' una è complementario di quello dell'altra, poichè le porzioni sovrapposte compongono il bianco.


Fig. 281.

Tale fenomeno è conseguenza della prima legge della polarizzazione circolare (240). Imperocchè essendo così diverse le deviazioni dei colori semplici, un raggio bianco polarizzato, il quale traversa normalmente una lamina di quarzo perpendicolare all'asse, nell'uscire da essa si troverà composto di raggi di tutt'i colori polarizzati in piani diversi. Laonde allorchè questo fascio in traversare un prisma birifrangente acromatizzato vien decomposto in altri

dne polarizzati ad angolo retto, di necessità i colori, che lo compongono, si divideranno inegualmente tra le due imagini colorate pure ma complementarie.

243. **Apparato di Noremberg.** Quasi tutte le esperienze di polarizzazione esposte sin qnì agevolmente si eseguono mediante l'apparato di Noremberg. Il quale componesi di due colonnette di ottone *b*, *d* (fig. 282) sorrette da una base, su cni è fisso lo specchio piano di cristallo amalgamato *p*. Fra esse v' è una lastra di vetro a facce parallele *n* girevole intorno a nn asse orizzontale, le cui inclinazioni vengono misurate da un indice e da nn cerchio graduato *c*. Fra le due colonnette può fissarsi a vite all'altezza che piace nn anello graduato *k*, e sovr'esso un secondo anello *a* atto a inclinarsi sostiene nn diaframma annerito con al centro un foro *e*. Finalmente in alto v'è nn anello gradnato *i*, in cni è girevole un disco con al centro un' apertura quadrangolare *o*, e da un lato uno specchio piano di cristallo amalgamato *m*, che s' inclina di 35, ° 25' alla verticale.



Fig. 282. Fig. 283.

Ciò premesso, s'inclini la lastra *n* di 35°,25' all'asse dell' istrumento. Con ciò i raggi di lnce diffusa *sn*, che fanno con essa un tale angolo, ne sono riflessi secondo *np*, e poi riflessi dallo specchio orizzontale traversano la stessa lastra *n*, e vanno a cadere secondo *pnr*, cioè sotto l'angolo di polarizzazione, sullo specchio *m*. Ora questi raggi non sono riflessi dallo specchio *m* quante volte il piano d'incidenza è perpendicolare al piano d'incidenza sullo specchio *n*, ossia al piano *snp*, appunto com'è nella figura. Girando poi

lo specchio in modo, che conservi sempre la stessa inclinazione all'asse, si avrà una quantità variabile di luce riflessa, ed un massimo allorchè i due piani d'incidenza sulla lastra *n* e sullo specchio *m* sono paralleli.

Sostituito allo specchio *m* un tubo con entro un prisma birifrangente *g* (fig. 283), in farlo girare intorno l'asse, si vedrà una sola imagine allorchè il piano della sezione principale è parallelo o perpendicolare al piano *snp*: nel primo caso passa il solo raggio ordinario, nel secondo il solo straordinario.

Adoperando come analizzatore una lamina di tormalina, il raggio polarizzato *pnr* si estingue quando l'asse della tormalina è parallelo al piano di polarizzazione *snp*.

Per osservare la virtù rotatoria del quarzo, e la colorazione che ne consegue, si disponga sul diaframma *c* la lamina di quarzo, e si guardi con la tormalina e col prisma birifrangente *g*.

DIFFRAZIONE, INTERFERENZA, SISTEMA DELLE ONDE.

244. **Diffrazione.** Chiamasi *diffrazione* quel fenomeno che presenta la luce, allorchè rasentando l'orlo de' corpi opachi o passando per un foro angusto, penetra nell'ombra geometrica così che sembra piegarsi. In più modi può farsene la esperienza.

1. Penetri il fascio luminoso per un'apertura piccolissima in una camera oscura (fig. 284): riducasi semplice facendolo passare attraverso un vetro colorato, per esempio, rosso: poi concentrisi con lente convergente L, e di là dal fuoco gli si presenti l'orlo sottile d'un corpo opaco *e*, che intercetti il passaggio a metà del fascio. L' altra metà sopra un diaframma B dipinge delle *frange* alternamente rosse e oscure, le quali penetrano altresì nell' interno dell'ombra geometrica, che sarebbe definita dal raggio *ab*.



Fig. 284.

Scostando più o meno il diaframma, la posizione delle frange dimostra che esse propagansi secondo linee iperboliche tangenti coi loro vertici gli orli del corpo opaco.

Le frange sono tanto meno ampie quanto più lontane dal limite dell' ombra: la intensità di loro luce diminuisce per gradi fino a

svanire; e le frange visibili sono tanto maggiori di numero quanto più omogenea è la luce che le cagiona.

La loro ampiezza è nella ragione inversa della rifrangibilità della luce. Con ciò si spiega perchè le frange prodotte dalla luce bianca sono iridate, come quelle che nascono dalla parziale sovrapposizione delle frange di diversa ampiezza dovute ai raggi elementari.

2. Al cono luminoso, che diverge dal fuoco di una lente convergente, si presenti un diaframma opaco, in cui sia scolpito un esilissimo foro circolare o allungato: e si raccolga la luce che passa per esso sopra un cartone bianco o un vetro spolito. Questa in vece di dare la imagine del foro, vi designerà delle frange alternamente oscure e illuminate, le quali si propagano ugualmente di là dal termine dell'ombra geometrica.

Un dischetto opaco interposto al fascio luminoso genera sopra un cartone un sistema di frange circolari oscure e luminose, e dentro l'ombra e all'intorno; nel centro poi un punto illuminato.

Lo stesso fatto si osserva se un filo sottile, come di seta o di metallo, o un capello intercetti il camino alla luce: si producono cioè delle frange esterne e interne all'ombra.

3. Se per due piccoli fori, o per due fenditure esilissime parallele penetra la luce, e ricevesi al solito sul diaframma, si formano del pari le frange interne e le esterne; ma quelle sono assai più vive che quando è unico il foro.

Al Grimaldi è dovuta la scoverta della diffrazione nel 1663; ed ei non potè non vedervi un'azione scambievole de' raggi, e fu indotto a proclamare, che in certi casi *luce aggiunta a luce produce oscurità*. E per fermo se nella diffrazione per due aperture, queste si allontanano, le frange interne gradatamente s'indeboliscono sino a sparire all'intutto quando non resta che una sola apertura. Accade il medesimo se avvicinasi da un lato un corpo opaco al capello così da lasciar passare solamente i raggi, che il rasentano dall'altro lato. La spiegazione del fenomeno data da Newton, che la farebbe dipendere nel sistema dell'emissione dalla ripulsione operata dall'orlo del corpo opaco, non è sodisfacente, tra perchè non darebbe ragione delle frange interne, e perchè è dimostrata non avere influenza sulla produzione delle frange la natura, la levigatezza, e tutte le altre modificazioni del corpo opaco frapposto. La diffrazione, come pure tutti i fenomeni d'interferenza non ricevono adequata spiegazione fuorchè nel sistema delle ondulazioni.

245. Interferenza de' raggi luminosi. Si dà nome di *interferenza* ad un'influenza scambievole de' raggi luminosi provenienti da una stessa sorgente nell' incontrarsi ad angolo piccolissimo. Talvolta la interferenza accompagna la diffrazione come ne' fatti testè riferiti, tale altra è sola, come nella seguente

Esperienza di Fresnel. Sieno un presso l'altro due specchi piani di metallo M, N (fig. 285) ad angolo molto ottuso. Concentrisi con

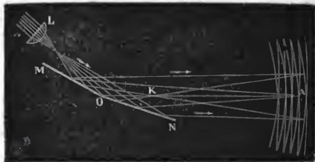


Fig. 285.

la lente S assai convergente una luce omogenea, la quale divergendo dal fuoco come se partisse da un punto solo cade parte sull'uno parte sull'altro specchio; i raggi riflessi da entrambi nel loro incontrarsi producono sopra un diaframma delle frange alternamente oscure e luminose, delle quali ecco i caratteri.

1. Sono parallele alla intersezione comune degli specchi.

2. Sono simmetriche relativamente al piano OKA, che passa per la intersezione comune degli specchi, e divide a metà l'angolo dei raggi riflessi.

3. La frangia centrale è sempre luminosa, e poi le altre a vicenda oscure o luminose. La loro ampiezza è in ragione inversa della rifrangibilità della luce incidente; donde, se questa è bianca, le frange sono colorate con tutte le tinte dello spettro.

4. Se il fascio riflesso da uno degli specchi prima o dopo la riflessione traversa una lamina trasparente assai sottile, tutto il sistema di frange è spostato accostandosi ai raggi che àn subito quella modificazione. Che se ambo i fasci riflessi traversano una stessa lamina, la posizione delle frange resta invariata.

5. Da ultimo se un corpo opaco intercetti il camino a uno dei due fasci riflessi, le frange oscure o colorate spariscono all' intutto,

e la superficie del diaframma diventa uniformemente illuminata.

Non può dimostrarsi d'una maniera più evidente l'azione mutua nell'incontro de' raggi, ossia la *interferenza*, e la verità del principio che tanti anni prima il Grimaldi avea annunziato. Ma l'essere assicurato un tal fatto à deciso per sempre la quistione sulla natura della luce contro il sistema dell'emissione, ed a favore di quello delle ondulazioni. Imperocchè quanto è impossibile concepire che i raggi di luce aggiungendosi gli uni agli altri si distruggano o si annientino, come richiederebbesi nel primo sistema per avere oscurità, altrettanto è naturale comprendere nel secondo che i moti cospiranti si sommino, gli opposti si elidano.

246. **Sistema delle onde.** L'*etere luminoso* è un fluido tenuissimo e sommamente elastico, sparso da per tutto nello spazio, e tra le molecole de'corpi ponderabili. Nel vuoto à la medesima densità ed elasticità per tutt' i versi, come pure nelle sostanze aeriformi o liquide, non che ne'solidi omogenei non cristallizzati, e ne'cristallizzati nel sistema cubico: in questi casi l'etere stesso è *isotropo*. Negli altri secondo le direzioni la sua densità ed elasticità restano modificate come quella della materia ponderabile, o altrimenti l'etere è *anisotropo*.

Le molecole de'corpi luminosi vibrano come quelle de'corpi sonori, ma con velocità eccessivamente più grande. Le loro vibrazioni si comunicano all'etere, e vi generano delle onde analoghe alle onde sonore, che nell'istesso modo si propagano, s'incontrano, s'incrociano, ed eccitando il nervo ottico determinano la sensazione della luce. I colori sono dovuti alla diversa velocità delle vibrazioni, che producono ondulazioni più o meno lunghe: è dunque la stessa la cagione delle differenze di acutezza ne' suoni per l'udito, de'colori per l'occhio.

Le vibrazioni successive perchè isocrone producono tante onde di eguale grandezza e durata, che si avanzano una dietro l' altra. La lunghezza d' una ondulazione vien misurata dalla distanza tra due molecole d'etere poste sopra un medesimo raggio, e aventi la stessa velocità e nel medesimo verso; cosicchè la più distante dalla corrispondente molecola del corpo luminoso sarebbe in ritardo di una intera vibrazione relativamente alla più vicina.

Nella propagazione dell'onda ogni molecola di etere diviene un centro di vibrazione. Or se tutte le molecole vibrano ugualmente, di tutte le onde *parziali* se ne compone una sola, l'onda *prin-*

cipale, che à la stessa forma dell'onda principale antece dente, come se questa fossesi ingrandita. In ciò è riposto il *principio di Huyghens*, che può enunciarsi così: Se intorno ai punti di una superficie rientrante e avente un centro descrivansi altrettante superficie simili, similmente poste e uguali, i punti delle intersezioni di tutte esse costituiscono una superficie simile alla prima, che tutte le tocca, ed à nome di *inviluppante*. Ad esempio, se intorno ai punti della superficie sferica AB (fig. 286) come centri descrivonsi tante sfere di raggio costante, ne emerge la superficie sferica inviluppante A'B', e intorno alla ellissoide AB (fig. 287) pure una ellissoide si avrebbe A'B' per superficie inviluppante.

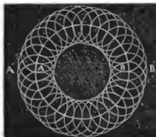


Fig. 286.

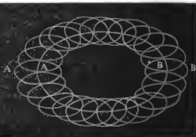


Fig. 287.

In un mezzo isotropo propagandosi il moto vibratorio con la stessa velocità in tutte le direzioni, la propagazione della luce eccitata in un punto avverrà per mezzo di onde sferiche generate intorno al fuoco, e i raggi luminosi saranno delle rette normali alla loro superficie. Così non accade se il mezzo è anisotropo. A grande distanza però dalla origine tali superficie possono considerarsi come piane entro certi limiti intorno a ciascun punto, e i raggi luminosi entro la stessa porzione limitata di superficie come tante rette parallele tra loro.

247. **Ordigno di Plucker.** Per comprendere agevolmente il moto delle molecole d'etere d'un raggio luminoso, si è procurato di renderlo sensibile con ingegnosi meccanismi; a noi basterà descrivere quello dell'alemanno Plucker (fig. 288). Si compone di una cassa di legno a parallelepipedo rettangolare AA', sul cui fondo superiore C è fissata una lamina di latta *mm'* con fenditure trasversali equidistanti tra loro. È divisa in due scompartimenti.

Nel superiore v'è un fodero (fig. 289) con fenditura longitudinale *tot'* nel mezzo delle sue facce opposte. Nell'inferiore può scorrere una specie di tiratoio D (fig. 288), che vedesi a parte nella fig. 290, ed à una prima porzione *w'w''* ondulata, la seconda *w''w'''* piana: la sua forma è quella d' un cilindro, la cui generatrice è parallela allo spigolo *k*, e la direttrice nella prima parte è una linea d'onda protratta nella seconda in una linea retta, che coincide col prolungamento dell'asse della linea d'onda. Da ultimo per ciascuna fenditura trasversale della cassa AA' si facciano discendere sino al fondo del tiratoio altrettante verghe sottili di acciaio *nn'* uguali aventi in su un bottone *a*.

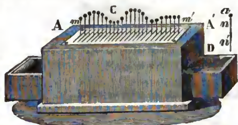


Fig. 288.

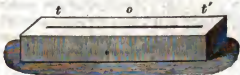


Fig. 289.

Questi bottoni *a* rappresentano le molecole d' etere, in riposo allorchè son disposte in linea retta, e moventisi allorchè si conformano a onda. E si osservi che ogni bottone comincia la sua oscillazione dopo quello che il precede in direzione opposta al moto del tiratoio. La velocità di questo risponde alla velocità del raggio: la lunghezza degl' intervalli e l'altezza della linea ondulosa sono la lunghezza di onda, e l'ampiezza di oscillazione: da ultimo il piano d' oscillazione sarà quello dei bottoni e della fenditura *tt'*.



Fig. 290.

Coll'aiuto di altri tiratoi conformati differentemente s'imita pure la interferenza dei raggi così ordinarî che polarizzati.

218. Spiegazione de' fenomeni luminosi. Bastano que-

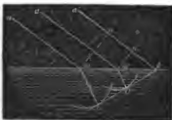
sti pochi cenni sul sistema delle onde per intendere come in esso si dia spiegazione de'principali fenomeni della luce.

Infatti per ciò che riguarda la *riflessione* e la *rifrazione*, sia *mn* (fig. 291) la superficie d'un'onda piana, che da un mezzo isotropo si presenta alla superficie di un altro *mk*. Non appena il moto secondo *am* arriva alla molecola *m*, questa vibra come un punto luminoso, e diviene centro di due nuove onde, una nell' istesso primo mezzo con la velocità che gli è propria, l' altra nel secondo con la velocità proporzionata alla densità ed elasticità di qnesto. Il medesimo si avvera per tntt'i punti dell'onda incidente. Adunque allorchè il punto *n* sarà ginnto alla superficie in *k*, la vibrazione di *m* avrà generato l' onda sferica d' un raggio *mo*=*nk*; e similmente *m'* avrà prodotto nel medesimo tempo nn'altra onda sferica del raggio *m'o'*=*n'k*. L'onda riflessa sarà la inviluppante che tocca in ogni istante tntte coteste sfere.


Fig. 291.

Or essendo *mo* e *m'o'* rispettivamente proporzionali a *mk* e *m'k*, quella snperficie tangente deve essere nn piano. Inoltre essendo uguali *mo* e *nk*, e retti gli angoli in *n* e in *o*, avremo l'angolo *mnk* nguale all'angolo *okm*, che sono appnnto gli angoli d' incidenza e di riflessione.

In quanto alla *rifrazione*, nel tempo in cui la lnce incidente percorre *nh* (fig. 292), le porzioni *m* e *m'* saran divenute centri di onde sferiche propagantisi nel secondo mezzo : i raggi *mo* , *m'o'* staranno alle distanze *nh*, *n'h* nella stessa ragione che le velocità ne'dne mezzi , e l' onda rifratta sarà la superficie tangente a tutte coteste sfere.Or è evidente che siffatta superficie è un piano, e che si à


Fig. 292.

sen *nmh* : sen *mho* : : *nh* : *mo* ,

cioè il seno dell'angolo d'incidenza al seno dell'angolo di rifrazione nel rapporto costante delle due velocità dell' onda incidente alla rifratta.Diminuisce dunque la velocità della luce ne'mezzi più rifrangenti,il che è stato verificato da Foucault con esperienze di-

rette, ed è una conseguenza dello spostamento delle frange degli specchi di Fresnel (245,4). Or precisamente il coutrario dovrebbe sostenersi nel sistema dell'emissione.

La *doppia rifrazione* è dovuta alla diversa velocità della luce ne' mezzi anisotropi secoudo le direzioni. Ma per dare completa ragioue di tutt' i fenomeni dovrei troppo estendermi, e usare di matematica molto più di quauto mi souo prefisso (*).

219. **Principio delle interferenze.** Il feuomeno della interferenza è uua immediata conseguenza del sistema delle vibrazioni. Imperocchè se due raggi omogenei partono da uno stesso punto e s'incontrano ad angolo piccolissimo, dovranuo rinforzarsi o aumentare di spleudore allorchè è nulla la differenza di loro cammino, o l'un d'essi è in ritardo relativamente all' altro di un numero iutero di vibrazioui totali, ossia di un numero pari di mezze vibrazioni. Poichè in questo caso le loro azioni sulla stessa molecola di etere saranuo cospiranti. Per converso l' incoutro produrrà distruzione di moto, o oscurità, se un d' essi è in ritardo rispetto all' altro di mezza vibrazione, o in generale di un numero dispari di mezze vibrazioni. La esperienza degli specchi di Fresnel permette di misurare la lunghezza delle onde pei colori semplici mediante le differenze di cammino de'raggi, che producono le frange lumiuose e oscure. Questa relazione numerica poggiata interamente sul fatto è il *principio delle interferenze.*

Dalle lunghezze dell' onda per ciascun colore si deduce il numero di vibrazioni che il produce, dividendo per esse lo spazio che la luce percorre iu 1". Nella tavola seguente le lunghezze delle oude nell'aria sono espresse in milionesimi di millimetro, e i numeri di vibrazioni in un milionesimo di 1" son valutati supponendo la velocità della luce di 70,000 leghe di 4000 metri al 1".

Colori	*Lunghezza di un'onda*	*Numero di vibrazioni*
Violetto	0,000423	764,000
Indaco	0,000449	691,000
Azzurro	0,000475	653,000
Verde	0,000512	607,800
Giallo	0,000551	553,000
Arancio	0,000583	532,000
Rosso	0,000620	500,000

(*) Basta consultare su questo argomento l' opera di Augusto Beer professore a Bonn, Introduction à la haute optique. Paris 1858.

Non occorre altro per intendere come vada spiegata la *diffrazione*. Imperocchè se l'onda si propaga liberamente in tutt'i versi, la intensità della luce , o il moto d' una molecola di etere in un istante qualunque, sarà la somma dei movimenti diretti sovr'essa da tutt' i punti dell'onda antecedente. Ma non è più così, se l'orlo d'un corpo opaco, o un corpo opaco esile frapposto intercetti il passaggio a parte dell' onda. Converrà calcolare in questi casi la risultante della porzione di onda libera ; donde le frange oscure per la luce monocromatica, le colorate per la bianca.

250. Colori delle lamine sottili, anelli di Newton. Tutte le sostanze diafane solide, liquide, e aeriformi, si mostrano colorate con tinte vivissime, ossia scompongono la luce o per riflessione o per trasmissione,allorchè sono ridotte a lamine sottili. Ne danno una prima prova la mica, il gesso, il salgemma, lo spato d'Islanda, e tutti i minerali di struttura laminosa, che si sfaldano in esilissime foglie. Così pure il vetro soffiato in bolla ad estrema tenuità sino a scoppiare, o alterato sotterra o esposto alle vicende atmosferiche. Dimostrano lo stesso il ferro e l' acciaio ben netti , che riscaldati si colorano per una laminetta d'ossido superficiale, e tutt'i metalli ben forbiti, su cui per azione elettro-litica si deposita uno strato sottile. Una goccia d'olio o d'altra sostanza grassa si spande alla superficie dell'acqua e la rende iridata. E finalmente a ciò pure si riduce il fenomeno, che presentano le bolle di sapone , le quali in prima bianche , mentre poi vengono crescendo di diametro e diminuendo di spessezza , vivamente si colorano di tinta cangiante : e quando non più atte a riflettere la luce sono in procinto di scoppiare si mostrano nere sul punto culminante.

La formazione di coteste frange fu studiata da Newton col suo *apparecchio degli anelli colorati*; il quale gli rivelò pure la relazione che intercede tra la grossezza della lamina sottile, il diametro e'l colore degli anelli. Esso consiste (fig. 293) in due lastre di cristallo, l'una piana, e l' altra leggermente convessa sovrapposta alla prima , e strette insieme tra due anelli a vite. Or guardando per riflessione alla luce diffusa,si vede nel punto di contatto de'due vetri una macchia nera circondata da anelli iridati al numero di sei

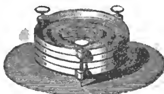


Fig. 293.

o sette, le cui tinte gradatamente s'indeboliscono. Guardando per trasmissione il centro degli anelli è bianco,e le loro tinte sono più deboli e complementarie de'corrispondenti anelli di riflessione.

Con luce semplice gli anelli sono alternamente luminosi e oscuri, e d'un diametro tanto minore quanto la luce è più rifrangibile.

Le grossezze delle falde d'aria corrispondenti agli anelli colorati di vario ordine costituiscono la serie de' numeri dispari, le corrispondenti agli anelli oscuri la serie de'numeri pari.

Le grossezze delle lamine di diversa natura, da cui son prodotti gli anelli del medesimo raggio, sono nella ragione inversa del loro indice di rifrazione.

Newton dava ragione del fenomeno degli anelli mediante gli *accessi di facile riflessione e di facile trasmissione*; ma esso non è veramente che un fatto d'interferenza, la quale negli anelli per riflessione si opera tra i raggi riflessi alla prima e alla seconda superficie della lamina sottile; e negli anelli per trasmissione à luogo tra i raggi direttamente trasmessi, e quelli che passano dopo aver subíto due riflessioni interne sulle facce opposte della lamina.

251. **Reticelle di Fraünhofer**. Scovrì Fraünhofer che ànno virtù di deviare e scomporre la luce le così dette *reticelle* o *reticoli*, che sono degl'intervalli uguali o delle righe vicinissime tra loro, alternamente trasparenti e opache, o anche atte o no a riflettere la luce. Si fa una *reticella per trasmissione* solcando con diamante una lastra di cristallo, e si perviene fino a segnare 500 tratti equidistanti nella lunghezza di un millimetro; si potrebbe anche tendere un filo metallico esilissimo o un capello nelle scanalature di due viti parallele tirate alla stessa trafila. Si forma una *reticella per riflessione* solcando con linee parallele una lamina metallica ben forbita.

Or se un fascio di luce solare traversa una reticella per trasmissione, e poi ricevesi sopra un cartone bianco, vedremo formarsi ai lati di questo fascio tanti piccoli spettri aventi il rosso all'esterno, il violetto all'interno. I colori sono disposti in tutti gli spettri egualmente, ma occupano spazii sempre maggiori, secondo che gli spettri cui appartengono più si allontanano dal mezzo.

Le più belle tinte si ànno dai reticoli per riflessione.

Sono pure un fenomeno di reticelle i colori iridati della madreperla e delle penne di taluni uccelli. Infatti, quelli s'imitano e si trasportano prendendo la impronta della superficie della madre-

perla con cera o con lega fusibile. Nè per altra ragione si veggono anelli colorati nettissimi guardando la fiamma d' una candela attraverso corpicciuoli esilissimi, ad esempio ponendo innanzi l'occhio una lastra, su cui prima si è alitato, e poi si è sparsa una polvere finissima come quella di licopodio.

Sono importanti le due leggi seguenti:

1.ª Usando diverse reticelle, le grandezze degli spettri di diffrazione del medesimo ordine, e le distanze de' punti omologhi dall'asse sono in ragione inversa della somma dell' ampiezza di una striscia oscura e di una trasparente.

2.ª Allorchè gl'intervalli tra le strie parallele sono ineguali e disposti irregolarmente, i raggi degli spettri si mescolano, e producono una linea bianca perpendicolare alla direzione delle strie.

Guardando attraverso un cannocchiale, secondo la forma delle reticelle gli spettri ànno le più svariate apparenze. Ad esempio ponendo innanzi all'oggettivo d' un cannocchiale una reticella a maglie quadrate formata sovrapponendo ad angolo retto due reticelle parallele ed uguali, e facendo penetrare la luce per un piccolo foro circolare, si vede una serie di spettri allungati e distribuiti attorno l' imagine dell'apertura a un dipresso secondo i raggi di un cerchio; la fig. 294 ne dimostra la quarta parte.

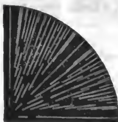


Fig. 294.

Si possono fare anche i reticoli a maglie rotonde, scolpendo ad esempio su lamina opaca e sottile de'piccoli fori circolari. Da due luci circolari uguali del diametro ciascuna di $0^{mm},6$, e a distanza di $1^{mm}, 03$, si ànno le frange della fig. 295. Le stesse frange prodotte da due aperture uguali, ma considerevolmente ingrandite mediante un cannocchiale son rappresentate dalla fig. 296: ogni scompartimento costituisce uno spettro separato.

252. Singolari apparenze al fuoco de'cannocchiali. Co'fenomeni de'reticoli e di diffrazione si rannodano quelle speciali apparenze, che presenta una stella allorchè si guarda con cannocchiale di forte ingrandimento. Sembra essa circondata da anelli alternamente luminosi e oscuri; e se l'apertura del cannocchiale è limitata da un diaframma circolare che tocca l'oggettivo, o se ne scosta, il disco e gli anelli si allargano in ragione inversa

del diametro dell'apertura; con foro di 35^{mm} la fig. 297 indica l'aspetto della *Capra*, e la fig. 298 la stella doppia *Castore*; con diaframma anulare la *Capra* si mostra come nella fig. 299.

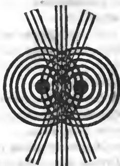


Fig. 295.

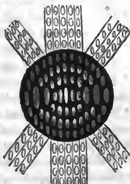


Fig. 296.

Variando la forma ed il numero delle aperture coteste apparenze cangiano in mille modi, e sovrattutto spostando più o meno il cannocchiale dal suo fuoco. Molti di questi fenomeni si ottengono solamente quando si guarda un astro scintillante.



Fig. 297.

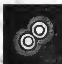


Fig. 298.

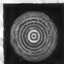


Fig. 299.

253. **Eriometro di Young.** È questo un prezioso strumento destinato a misurare il diametro delle fibre, e di esilissimi globicini (*). Si compone di un'asta graduata orizzontale avente a un suo estremo una lamina metallica annerita, nel cui centro è scolpito un foro circolare del diametro di mezzo millimetro, e all'intorno a distanza di un centimetro una serie di esilissimi forellini. Sull'asta è scorrevole un porta-oggetto con la sostanza da misurare.

Per valersene si guarda attraverso la sostanza e'l foro circolare una fiamma collocata dietro la lamina metallica; e si fa scorrere il porta-oggetto finchè l'anello luminoso che apparisce coincida col cerchio de' forellini scolpiti sulla lamina. Si legge allora la distanza del porta-oggetto dall'apertura; e poichè si ammette che queste

(*) Dal greco ἔριον *fiocco di lana*.

distanze sono in ragione inversa del diametro dei corpi esili, basterà conoscere la grandezza di uno per inferirne le altre.

254. **Interferenza della luce polarizzata.** Eccone le leggi scoverte da Fresnel e Arago.

1.ª *Due raggi polarizzati in uno stesso piano agiscono l'uno sull'altro assolutamente come due raggi naturali.*

2.ª *Due raggi polarizzati ad angolo retto non operano interferenza negli stessi casi in cui la eserciterebbero due raggi naturali.*

3.ª *Due raggi polarizzati ad angolo retto possono essere ridotti allo stesso piano senza rendersi con ciò interferenti.*

4.ª *Due raggi polarizzati ad angolo retto, allorchè riduconsi all'istesso piano esercitano influenza scambievole se appartengono ad un fascio polarizzato primitivamente in uno stesso piano.*

5.ª *Nell'interferenza de'raggi avuti per doppia rifrazione il sito delle frange non dipende solo dalla differenza di velocità o di cammino, ma in certi casi si deve tener conto di una mezza onda di più.*

Importantissime sono coteste leggi soprattutto nella spiegazione de'fenomeni di colorazione. Inoltre dalla seconda legge s'inferisce, che le vibrazioni dell'etere sopra un raggio di luce polarizzata sono *trasversali* e secondo una medesima direzione, cioè parallele alla superficie dell'onda e perpendicolari alla direzione secondo cui la luce si propaga; a differenza delle vibrazioni sonore, che sono *longitudinali*. Dippiù si ammette che anche le vibrazioni della luce naturale sieno trasversali: che quelle della luce polarizzata per riflessione sieno rettilinee, donde il nome di *polarizzazione rettilinea*, e che nelle altre specie di luce polarizzata la differenza consista nella traiettoria percorsa dalle molecole di etere; se è cerchio o ellissi la polarizzazione è *circolare* o *ellittica*.

255. **Colori della luce polarizzata che traversa lamine sottili birifrangenti.** Se un raggio polarizzato traversa una lamina sottile birifrangente, ad esempio una lamina di mica, di quarzo, di gesso, di calce, allorchè viene esaminata con un polariscopio presenta fenomeni ben diversi da quelli che costituiscono i caratteri della luce polarizzata. Poniamo infatti che si sperimenti coll'apparato di Noremberg, che l'analizzatore sia un prisma birifrangente, e che la lamina sia tagliata parallelamente all'asse. Si osservano allora i seguenti fatti.

1. Allorchè la sezione principale della lamina è parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione si vedono due imagini bian-

che, le quali presentano gli stessi cangiamenti d'intensità al rotare del prisma, che se non vi fosse la lamina.

2. Quando la sezione principale non è nè parallela nè perpendicolare al piano di polarizzazione si veggono due imagini, ma colorate; e di tinte complementarie, poichè danno il bianco allorchè negli orli si sovrappongono.

3. Restando immobile la lamina, e girando il prisma, varia non il colore, ma la intensità delle imagini, la quale raggiunge il massimo, allorchè le sezioni principali del prisma e della lamina fanno tra loro un angolo di 45° o di 135°. Dippiù le imagini si scambiano le tinte, e passano pel bianco quando la sezione principale del prisma è parallela o perpendicolare a quella della lamina.

4. Analoghi effetti si ànno usando a polariscopi il prisma di Nicol o la tormalina, tranne che si vede una sola imagine.

5. I colori cangiano colla spessezza della lamina : sono più vivi allorchè questa è più sottile, e spariscono se è grossa di là d'un certo limite; il quale per la mica è di 88 centesimi di millimetro, pel gesso e pel quarzo 45 centesimi, per lo spato d'Islanda 25 millesimi. Inclinando più o meno al raggio polarizzato una stessa lamina si ottengono colori diversi, poichè ciò equivale a variazione di grossezza. Il cangiamento di colore per lamine omogenee di grossezza diversa, segue la legge delle tinte negli anelli di Newton in relazione con la grossezza dello strato di aria.

Fresnel à dimostrato che questi fenomeni dipendono dal dividersi ogni raggio elementare di luce polarizzata, che traversa la lamina cristallina ed il cristallo birifrangente, in quattro raggi, due de'quali propagansi secondo la stessa direzione e appartengono all'imagine ordinaria, e due alla straordinaria. Questi per interferenza si distruggono o si rafforzano secondo le posizioni relative del prisma e della lamina cristallina relativamente al piano di polarizzazione della luce incidente.

Il solfato di calce che à i suoi due assi nel piano delle lamine e si divide in fogli esilissimi, dà i colori più vivi. Si fanno con esso delle imagini rappresentanti diversi oggetti, nelle cui parti simmetriche si dispone la lamina con la stessa inclinazione degli assi: illuminandole con luce polarizzata e guardandole con un polariscopio producono effetto sorprendente, poichè le parti simmetriche prendono la stessa tinta, diversa le non simmetriche.

256. **Anelli della luce polarizzata che traversa le**

lamine birifrangenti sottili. Allorchè i raggi polarizzati e paralleli traversano normalmente la lamina cristallina, questa agisce ugualmente in tutt'i suoi punti, e la tinta è uniforme. Ma se un fascio di raggi traversa la lamina sotto differenti obbliquità, si produce un sistema di anelli analoghi a quelli di Newton, perchè nei diversi punti corrisponde loro una spessezza di lamina differente.

Ben si osservano questi anelli collocando la lamina cristallina M (fig. 300) nella *pinzetta a tormaline* (fig. 301); piccolo arnese, che si compone di due tormaline *a*, *b* tagliate parallelamente all'asse, e girevoli in due anelli formati agli estremi di un medesimo filo metallico piegato sopra se medesimo a molla. Appressando all'occhio l'istrumento, la tormalina esterna fa da polarizzatore, la interna da polariscopio; e se la lamina è tagliata da un cristallo a un asse, e perpendicolarmente a questo, e la luce incidente è semplice, si vede una serie di anelli circolari alternamente luminosi e oscuri. Il loro diametro cresce con la rifrangibilità della luce, e diminuisce con la spessezza della lamina sino a sparire all'intutto. Con la luce bianca si ànno al solito gli anelli iridati.



Fig. 300.



Fig. 301.

1.° Se il cristallo è *a un asse*, per esempio una lamina di spato perpendicolare della spessezza da 1 a 30 millimetri, allorchè gli assi delle tormaline sono perpendicolari tra loro si osservano gli anelli come nella fig. 302 tagliati da una croce nera. Quando poi gli assi delle tormaline si riducono paralleli, gli anelli prendono la tinta complementare, e sono traversati da una croce bianca (fig. 303).

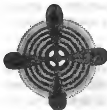

Fig. 302.


Fig. 303.


Fig. 304.

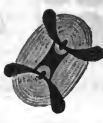
La ragione del fenomeno è evidente. Sperimentando come è detto, la lamina birifrangente è traversata da un fascio conico di luce polarizzata, di cui l'occhio è il vertice. Adunque in ragione

della divergenza o della obbliquità del raggio cresce la corrispondente spessezza di lamina, e perciò le diverse tinte disposte simmetricamente in forma di anelli circolari. La croce nera è nn effetto dell'assorbimento della lnce polarizzata, la croce bianca è consegnenza della sua trasmissione.

2.° Ne'cristalli *a due assi* invece di nn solo sistema di anelli circolari e concentrici ve n'à due, che presentano forma di cnrve a due centri, ciascun de'quali corrisponde a uno degli assi ottici. Ad esempio frapponendo alle tormaline incrociate una lamina di salnitro tagliata perpendicolarmente alla linea media, si ànno i due sistemi di anelli della fig. 305, i quali gradatamente girando la lamina passano per qnelli della fig. 306 e si trasformano come nella fig. 307 dopo una rotazione di 45°. La loro forma rimane la stes-


Fig. 305.


Fig. 306.


Fig. 307.

sa, se girando nna delle tormaline se ne riducano gli assi paralleli, ma le tinte sono complementarie, e la croce nera diviene bianca.

Qnante volte l'àngolo degli assi ottici supera 25°, non si vede in una volta che nn solo sistema di anelli come per l'arragonite, una cui lamina mostra gli anelli della fig. 304.

257. Colori di polarizzazione nel vetro. Diverse azioni fisiche e meccaniche come il riscaldamento, la tempera, la compressione, l'indnrimento, rendono birifrangenti quelle sostanze che non sono tali (230); le quali per luce polarizzata presentano i descritti fenomeni di colorazione. Il vetro si presta bene a queste esperienze; modificato differentemente presenta svariati anelli secondo la operazione cni è sottoposto, e la sna forma.

1.° *Riscaldamento.* Una grossa lastra rettangolare di vetro poggiata longitudinalmente su lamina di ferro ben calda, e guardata con tormalina si vede elegantemente colorata come nella fig. 308; le prime frange a comparire sono le inferiori.

2.° *Tempera.* Si tempera il vetro arroventandolo, e poi agitandolo nell'aria perchè di presente si raffreddi: con ciò acquista virtù permanente di mostrare i più bei disegni colorati. Un vetro quadrangolare poggiato con lo spigolo su uno specchio nero per riceverne la luce polarizzata per riflessione si presenta come nelle fig. 309, 310, 312.

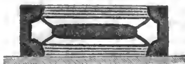


Fig. 308.

Una lamina circolare invece si colora come indicano le fig. 311, e 314. Sovrapponendo due lamine rettangolari si à il disegno della



Fig. 309.

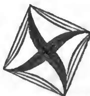


Fig. 310.

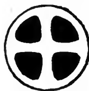


Fig. 311.

fig. 313, le cui tinte cangiano come le precedenti. Una lamina



Fig. 312.

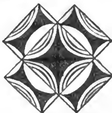


Fig. 313.



Fig. 314.

ovale mostra delle tinte che accennano due assi di doppia rifrazione (fig. 315).

3.° *Compressione.* Comprimendo in morsa di bronzo un vetro rettangolare si sviluppano i bei fenomeni della fig. 316 se il piano di polarizzazione dell'analizzatore è perpendicolare al primitivo, ed il senso della compressione è parallelo o perpendicolare al medesimo: se quest'ultimo angolo è di 45° si à la fig. 317.

4.° *Indurimento.* La colla di pesce seccata in un vaso cilindrico si conformerà a disco producente le figure de' cristalli negativi a un asse: se il vase è ovale si avranno due assi.

258. **Distinzione tra i cristalli positivi e negativi.**

La compressione di una lamina tolta da un cristallo a un asse somministra nn facile mezzo per distinguere se quello è negativo o positivo. Infatti Brewster avea scoverto, che se comprimesi forte-


Fig. 315.


Fig. 316.


Fig. 317.

mente una lamina di quarzo perpendicolare all'asse, nella pinzetta a tormaline presenta il doppio sistema di anelli, come i cristalli a due assi; la linea che unisce i centri degli anelli è parallela alla linea di compressione. Per converso una lamina tolta da nn cristallo negativo mostra ugualmente il doppio sistema di anelli, ma la linea dei centri è perpendicolare a quella di pressione.

La scoverta di questo carattere distintivo è dovnta all' illustre autore del *Rèpertoire d'optique moderne*.

259. **Microscopio polarizzante.** Tra le tante applicazioni che si son fatte degli esposti fenomeni di colorazione ci basterà dire solamente del *microscopio polarizzante*, il quale in verità non differisce dall' ordinario fuorchè per due prismi di Nicol disposti l'nno sotto il porta-oggetti, l'altro sopra l'oggettivo.

Guardando ad esempio de'minutissimi cristalli birifrangenti,qnesti vedonsi colorati sopra un fondo bianco o nero secondo che le sezioni principali dei prismi sono parallele o perpendicolari: e si distinguono per effetto di contrasto delle differenze di forma che sfuggirebbero non usando la luce polarizzata. Inoltre un frammento minutissimo di un cristallo basterà a scovrire se è birifrangente pel colorarsi quando è traversato da luce polarizzata.

La più parte de'tessnti organici si colorano con luce polarizzata: è qnesta dunque un mezzo per istudiarne la struttura. Così i granelli di fecola nel microscopio polarizzante si vedono traversati da una croce bianca o nera; e una sottile lamina del cristallino dell'occhio dei pesci presenta degli anelli somiglianti a quelli di una lamina di spato perpendicolare.

LIBRO UNDECIMO

FISICA TERRESTRE

NOZIONI GENERALI

260. **Limiti della fisica terrestre.** Diverse scienze, e tutte di recente data, si versano intorno alla conoscenza de'fatti terrestri dipendentemente dalle leggi fisiche, entro limiti gradatamente più estesi; la *geografia fisica*, la *geografia comparata*, la *geognosia*, e in ultimo la *fisica del Cosmo*, che vien definita da Humboldt la *descrizione fisica del mando fondata sulla contemplazione della università delle cose create, di tutto che coesiste nello spazio, sostanze o forze, ossia della simultaneità degli esseri materiali che compongono l'universo.*

Io chiamo *fisica terrestre la descrizione e le leggi de'fenomeni fisici, che avvengono nella terra*, cioè nell'inviluppo *aeriforme* del nostro pianeta, e nelle sue parti così *liquida* come *solida*. Con ciò se da un lato essa è più limitata della fisica del globo, dall'altro è più estesa della *meteorologia*, la quale secondo la parola e l'uso conterrebbe i soli fenomeni che ànno lor sede nell'atmosfera.

Divisione. I fenomeni fisici terrestri per sola ragione di metodo possono distribuirsi comodamente in sei gruppi, cioè in fenomeni *termici*, *aerodinamici*, *acquei*, *elettrici*, *luminosi*, e *vulcanici*.

261. **Importanza della fisica terrestre.** Sconoscere i grandi fenomeni che si operano nel nostro pianeta, o rimanerne stupidi spettatori senza indagare di essi le circostanze, le relazioni scambievoli e le cagioni, è colpa oltre quanto può dirsi indecorosa, che ne rende in ciò somiglianti o inferiori a' bruti ignari dei beni che fruiscono, e incapaci di amplificarli. Per converso nobile fuormisura ne è lo studio e piacevole, che allettando naturalmente ci eleva e c'inchina all'ossequio del Sommo Autore; e per giunta proficuo al ben essere per le cento applicazioni che se ne traggono all'agricoltura, alla navigazione, alla pastorizia, alla tecnologia, alla igiene.

É cosa superflua descrivere fin d'ora cotesti vantaggi; ma che sieno moltissimi non v'è luogo a dubitarne, e gli andrem vedendo partitamente. Siamo dunque ben lungi dal dividere la opinione emessa dai sommi Biot e Regnault nelle sedute dell'Istituto a Parigi in gennaio 1856, se non in quanto vorremmo che si andassero perfezionando i metodi di osservazione corrispondentemente ai progressi attuali della fisica (*).

262. **Composizione della terra.** Alla intelligenza di parecchi tra i fenomeni terrestri è indispensabile conoscere la composizione della terra, i cui diversi terreni esercitano varia influenza a produrli o a modificarli.

Veramente il campo delle ricerche di tal genere serbato alla geognosia è ristretto alla crosta terrestre; val quanto dire vien limitato da un lato alla profondità a cui pervengono le cavità naturali o artefatte, e dall'altro alle cime delle più alte montagne. Or i lavori degli uomini pervengono appena alla profondità di 650 metri sotto il livello del mare, che vale $\frac{1}{9800}$ del raggio terrestre; i letti di carbone si curvano talora sino a 2000 metri, e gli strati di calcare il doppio: le rocce poi cristalline lanciate da'vulcani in attività vengono secondo Humboldt da profondità non minore di 40000 metri. In quanto alle montagne, nella massa immensa delle Ande il Chimborazo si eleva a 6530 metri, l'Illimani a 7315, il Sorate a 7696. Nell'Himalaya sono i punti più elevati del globo il Dhawalagiri e'l Jawahir, che sorgono a 8556 e 7848 metri. Paragonando quelle maggiori cavità a queste massime elevatezze, abbiamo una distanza verticale appena di $\frac{1}{524}$ del raggio terrestre.

(*) Nell'atto che la commissione accademica proponea lo stabilimento di cinque osservatori meteorologici in Algeria, essi opponendosi proclamarono: la meteorologia non essere ancora una scienza; e per soprappiù niente meno che la inutilità completa di tutt' i lavori meteorologici. L'istituto approvò, com'era naturale, il parere della commissione. Ma dal non essere fin qui una scienza la meteorologia, non si à dritto ad inferirne altro fuorchè le tre conclusioni seguenti: 1.° convien moltiplicare le osservazioni, massimamente le orarie, per raccorre tutti gli elementi, i quali forniranno un di risultamenti scientifici: 2.° le osservazioni debbono essere paragonabili, sovratutto ponendo in relazione fra loro gli osservatori con reti di telegrafi elettrici: 3.° alle osservazioni fa bisogno sovente aggiungere ben condotte esperienze per lo scovrimento delle leggi.

Le rocce costituenti la materia della terra, sebbene dentro sì angusti limiti, sono assai diverse e per composizione e per giacitura. In quanto poi alla maniera di loro genesi possiam distinguerle comodamente nelle seguenti tre classi fondamentali:

1. *Rocce di eruzione* uscite dall' interno della terra o *vulcanicamente* allo stato di *fusione*, o *plutonicamente* a diverso grado di *rammollimento*. Tali sono le rocce dette *cristalline* perchè impastate di cristalli, come i graniti, e i porfidi: e tali pure le *lave* eruttate da' vulcani antichi e moderni.

2. *Rocce di sedimento* nate per *precipitazione* o per *deposizione* da un liquido, nel quale i loro elementi erano *sciolti* o *sospesi*. Fra i loro principali caratteri v'è la *stratificazione*, e la presenza dei *fossili*, val quanto dire di residui organici vegetali ed animali più o meno diversi dagli esseri attuali giusta il periodo di loro formazione. Valga ad esempio il *calcare apennino*. Ad esse pure riduconsi i *conglomerati* formati da' detriti di rocce preesistenti meccanicamente divise.

3. *Rocce trasformate*, o *metamorfiche*, di cui la struttura e 'l modo di stratificazione furono alterate dalla vicinanza di una roccia d'eruzione vulcanica o plutonica, o pure da vapori e sublimazioni che si svolgono da alcune rocce in fusione. Di tale natura è il marmo di Carrara a struttura *saccaroide*.

Le quali specie di rocce o le loro affini anche attualmente producnsi sotto i nostri occhi, come sovente farem notare, e ci rivelano la maniera di loro formazione nel mondo primitivo.

FENOMENI TERMICI.

263. Temperatura dell'aria alla superficie terrestre. Sulla temperatura dell'aria non à influenza *sensibile* nè il calore della terra per la cattiva facoltà conduttrice della sua crosta, nè il calore raggiato dagli astri. Ogni variazione dunque non dipende che dall'azione solare; e però è diversa secondo le ore del dì, la stagione e la latitudine.

Per osservarne i cangiamenti presso la superficie terrestre fa d'uopo sospendere il termometro liberamente a tramontana dell'edifizio discosto dalla parete e dal suolo, e così che no 'l colpiscano nè i raggi diretti del sole nè i riflessi dai muri bianchi di rincontro. È comodo l'uso di sospendere l' istrumento nel mezzo di

un tamburo girevole intorno l'asse, aperto dal lato che guarda il Nord, e che poi si volge all'interno per leggere la indicazione.

Sarebbe però a desiderare che s'introducesse generalmente il sistema delle osservazioni termometriche all'ombra e al sole in condizioni identiche o differenti: diverrebbero così assai più giovevoli, specialmente all'agricoltura.

264. **Andamento diurno del termometro.** Il termometro osservato ogni ora ci rivela un moto presso che regolare della temperatura nel corso del giorno, quando cagioni straniere no 'l turbano, ad esempio venti, pioggia, e somiglianti. Chiminello da Padova ci diè le prime osservazioni più compiute in tal genere. Ei guardò il termometro ogni ora per 16 mesi dalle 4 del mattino alle 11 della sera, ed una volta di notte ad ora variabile, supplendo gli altri termini per mezzo della *interpolazione*, cioè mediante la legge che con le osservazioni stesse veniva scovrendo. Negli anni 1824 e 1825 gli uffiziali di artiglieria inglesi al forte di Leith presso Edimburgo osservarono il termometro ogni ora; e poi fu eseguito altrettanto in parecchi punti del globo. Luigi Federico Kaemtz paragonando le osservazioni altrui alle proprie à dedotto la seguente legge del periodo termico diurno.

Ogni dì v'è un minimo e un massimo: il minimo circa mezz'ora prima della levata del sole; il massimo due ore dopo il mezzodì, alquanto più presto d'inverno, più tardi di està.

La spiegazione è evidente. Imperocchè la virtù termica dei raggi cresce con l'altezza del sole, tanto più che diminuendo la obbliquità decresce la spessezza delle falde atmosferiche più dense e più umide, e però men diatermiche, da cui quelli in maggiore copia sono assorbiti. Il calore poi, che nel mattino la superficie terrestre e gli strati inferiori dell'atmosfera vanno acquistando, è maggiore di quello che disperdesi per raggiamento e per comunicazione: tale differenza si avvera anche dopo che il sole è giunto al meridiano; e però dopo il meriggio succede il massimo. Da questo istante la perdita per raggiamento è sempre maggiore, indebolendosi gradatamente la virtù termica de'raggi; donde un progressivo abbassamento di temperatura, sovrattutto circa il tramonto. Durante poi la notte, il calore si sperde senza compenso di sorta, tranne che il suolo cede all'aria parte del calore ricevuto nel dì.

Cagioni speciali possono modificare tale periodo precipuamen-

te i venti. Infatti sulle coste marittime de'climi caldi il massimo avviene di mattina pe'venti freschi che sul meriggio spirano dal mare; e in alcuni siti la temperatura si alza alquanto verso sera dopo il tramonto per venti caldi locali.

265. **Temperatura media.** Sommando le temperature osservate di ora in ora per tutto un giorno, e dividendo la somma per 24, il quoziente esprimerà la *temperatura media del dì*. Questo metodo va preferito; ma perchè à stancato sin quì i men pazienti osservatori, suole determinarsi un *medio aritmetico* quanto meno è possibile diverso dal *vero* per mezzo di poche osservazioni ad ore determinate. In Parigi si osserva alle 9 del mattino, a mezzodì, alle 3 e alle 9 della sera. A Ginevra invece alle 3 di mattina, a mezzodì, alle 4 e alle 8 di sera. Kaemtz preferisce quattro osservazioni alle 4 ed alle 10 di mattina e di sera. Ad ogni modo volendo non trascurare la tenue differenza, che vi è sempre tra il medio aritmetico e il vero, si potrebbe determinare per alquanti giorni con osservazioni orarie il vero medio, e con ciò la differenza che conviene aggiungere o sottrarre negli altri casi.

Si noti che sarebbe molto diverso dal vero il medio ricavato mediante la semisomma del valore massimo e minimo segnati da un termometrografo.

Sommando le temperature medie di tutt'i giorni del mese e dividendo la somma per 30 si à la temperatura *media del mese*; e sommando le medie de'dodici mesi e dividendo per 12 si à la *media dell'anno*. Protraendo queste osservazioni per lunghi anni si perviene a definire la temperatura *media del luogo*.

Indicazione grafica. Suole rappresentarsi graficamente il moto diurno del termometro con *linee termiche*, ossia col metodo delle ascisse e delle ordinate: le ascisse rappresentano i tempi, cioè le ore del dì, e le ordinate le temperature corrispondenti. Vale il medesimo pel movimento nel corso del mese o dell' anno.

Ad esempio la fig. 318 rappresenta l'andamento del termometro osservato da Kaemtz in Halle durante i mesi di gennaio e di luglio.

266. **Andamento annuo.** La legge del moto termometrico annuo ne' diversi luoghi del nostro emisfero non situati tra i tropici è quasi per tutto la medesima a qualunque latitudine e longitudine. Dalla metà di gennaio la temperatura comincia a crescere lentamente: l'aumento è rapido in aprile e maggio: poi di nuovo si rallenta per giungere al massimo verso la fine di luglio. La di-

minuzione è lenta in agosto e settembre, in appresso rapida sino ad avere il valore minimo in gennaio. Generalmente la tempera-

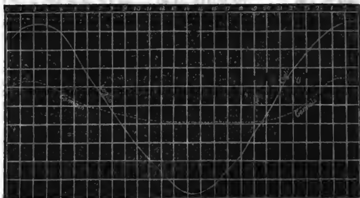


Fig. 318.

tura minima è nel 14 gennaio, la media il 24 aprile e'l 21 ottobre, la massima il 26 luglio.

La cagione del periodo annno è doppia; cioè la crescente altezza del sole da gennaio a luglio, e la varia durata del giorno riguardo alla notte. Non accade poi veramente il minimo al solstizio d'inverno, nè il massimo a quello di està, e neanco la temperatura media ai due equinozî di primavera e di autunno, per la legge di compenso che pur si avvera nel periodo diurno.

267. **Linee isotermiche, isoteriche, e isochimeniche** (*). Per ben coordinare in quanto alla temperatura i diversi punti del globo Humboldt proponea sin dal 1817 di congiungere per mezzo di linee i diversi luoghi, dei quali è la stessa la temperatura media: le disse linee *isotermiche*. *Zona isotermica* è la fascia compresa tra due isotermiche. E poichè due luoghi possono appartenere alla stessa linea isotermica, ed avere differentissime tra loro le temperature dell' està e dell'inverno, ei chiamò *isoteriche* le linee d'una medesima temperatura media estiva, ed *isochimeniche* quelle d'una stessa temperatura invernale.

Riferiamo qui le temperature medie annue, invernali ed estive di parecchi luoghi con le loro rispettive posizioni.

(*) Dalle voci θέρος caldo, χειμών inverno.

Luoghi	latitudine	longitudine	altezza in tese	Temperatura media annuale	Temperatura media invernale	Temperatura media estiva
Isola Melville	74°,45	113, 1 O		— 17°, 0	— 33°, 3	3°,1
Forte Réliance	62°,46	111, 21 O		— 10, 2	— 29, 1	5, 8
Nain (Labrador)	57, 0	63, 40 O		— 3, 6	— 18, 5	7, 6
Enontekis (Lapponia)	68, 30	18, 27 E	226	— 2, 9	— 17, 6	12, 8
S. Bern. (Monast.)	45, 15	4, 37 E	1278	— 1, 1	— 8, 0	5, 9
S. Gottardo ospiz.)	46, 30	6, 3 E	1073	— 1, 0	— 7, 8	7, 1
C. Nord (Mangeröe)	71, 10	23, 30 E		0, 1	— 4, 6	6, 4
Uleo	65, 0	23, 06 E		0, 7	— 11, 1	14, 3
Pietroburgo	59, 56	27, 59 E		2, 8	— 8, 7	16, 0
Kasan	55, 44	47, 10 E	30	2, 2	— 13, 7	17, 3
Mosca	55, 45	35, 12 E	59	3, 8	— 10, 2	17, 5
Abo	60, 27	19, 58 E		4, 6	— 5, 8	16, 1
Cristiania	59, 55	8, 28 E		5, 3	— 3, 7	15, 8
Upsal	59, 52	15, 18 E		5, 4	— 4, 9	15, 8
Stocolma	59, 21	15, 43 E	50	5, 6	— 3, 7	16, 3
Konisberga	54, 42	18, 9 E		6, 5	— 3, 3	13, 9
Danzica	54, 21	16, 1 E		7, 6	— 1, 1	16, 6
Copenaghen	55, 41	10, 15 E		7, 7	— 0, 9	17, 2
Berlino	52, 33	11, 2 E	17	8, 1	— 1, 0	17, 2
Augusta	48, 21	8, 33 E	244	8, 1	— 1, 1	16, 8
Berghen	60, 24	2, 42 E		8, 2	2, 2	14, 8
Dresda	51, 3	11, 25 E	60	8, 3	— 1, 2	17, 2
Edimburgo	55, 58	5, 30 O		8, 4	3, 5	14, 1
Aberdeen	57, 8	4, 15 O	8	8, 7	3, 4	14, 6
Zurigo	47, 23	6, 12 E	225	8, 9	— 0, 9	17, 9
Amburgo	53, 33	7, 38 E		8, 9	0, 4	19, 0
Gottinga	51, 32	7, 33 E	69	9, 1	0, 6	17, 6
Basilea	47, 34	5, 12 E	141	9, 1	— 0, 2	17, 6
Nicolaïeff	46, 58	29, 40 E	20	9, 4	— 3, 9	22, 4
Dublino	53, 21	8, 39 O		9, 6	4, 0	15, 3
Boston	42, 21	73, 24 O		9, 6	— 1, 4	21, 0
Ginevra	46, 12	3, 48 E	202	9, 7	0, 9	18, 4
Londra	51, 31	2, 25 O	27	9, 8	3, 2	16, 7
Praga	50, 6	12, 5 E	127	10, 0	— 0, 4	19, 9
Manheim	49, 29	6, 8 E	43	10, 3	1, 5	19, 5
Vienna	48, 12	14, 2 E	75	10, 4	0, 2	20, 4
Ofen	47, 30	16, 43 E	80	10, 5	— 0, 4	21, 2
Parigi	48, 50	0, 0,	20	10, 8	3, 6	18, 0
Sebastopoli	44, 35	31, 12 E		11, 7	1, 6	22, 4
Padova	45, 24	9, 33 E	100	12, 3	1, 7	23, 1
Milano	43, 28	6, 51 E		12, 9	2, 4	22, 8
Ootacamund	11, 35	74, 25 E	1151	14, 2	11, 8	14, 9
Trieste	45, 46	11, 26		14, 6	5, 7	23, 6
Marsiglia	43, 18	3, 2 E		14, 6	7, 3	22, 7
Roma	41, 54	10, 7 E		15, 5	8, 3	22, 8
Napoli (R. oss.)	40, 52	11, 55 E	76	15, 7	9, 1	23, 7
Quito	0, 13	81, 5,0	1495	15, 6	15, 6	15, 6
Lisbona	38, 43	11, 19 O	36	16, 3	11, 4	21, 6
Palermo	38, 7	11, 2 E		16, 8	11, 3	22, 0
Buenos Ayres	34, 36	60, 44 O		17, 0	. . .	. . .
C. di B. Sper.	33, 55	17, 2 E		10, 1	14, 8	23, 5

Luoghi	latitudine	longitudine	altezza in tese	Temperatura media annuale	Temperatura media invernale	Temperatura media estiva
Isole Bermude	32, 15	67, 10 O		19, 7	15, 1	24, 0
Tunisi	36, 48	7, 51 E		20, 1	12, 6	28, 3
Algieri	36, 47	0, 41 E		21, 6	16, 5	26, 7
S. Crux	28, 28	18, 36 O		21, 7	18, 1	24, 8
Cairo	30, 3	28, 58 E		22, 2	14, 5	29, 5
Macao	22, 10	115, 52 E		22, 3	15, 2	28, 2
Kandy (Ceylan)	7, 17	78, 29 E	263	22, 8	22, 1	22, 9
Canton	23, 7	110, 54 E		23, 1	17, 2	28, 2
Rio Yaneiro	22, 56	45, 36 O		23, 4	20, 7	26, 1
Hawaii	19, 30	153, 10 E		24, 0	21, 7	25, 7
Vera Crux	19, 12	98, 21 O		25, 0	21, 5	27, 7
Seringapatam	12, 25	74, 22 E	377	25, 2	22, 9	24, 7
Benares	25, 30	80, 41 E	50	25, 5	17, 0	30, 4
Avana	23, 9	84, 43 O		25, 5	22, 0	28, 5
P. Louis (J. di Fran.)	20, 10	55, 8 E		25, 7	23, 0	28, 5
Calcutta	22, 35	86, 10 E		26, 4	19, 5	28, 5
Bombay	18, 58	70, 18 E		26, 5	23, 1	20, 0
Colombo (Ceylan)	6, 57	59, 40 E		27, 2	26, 4	27, 4
Costa di S. Leona	8, 30	. . . .		27, 2	26, 2	27, 4
Madras	13, 5	78, 5 E		27, 6	25, 0	30, 1
Maracaibo	10, 42	75, 35 O		27, 2	. . .	. . .

268. **Climi, e loro classificazione.** La voce *clima* secondo Humboldt nel significato più generale abbraccia il complesso delle variazioni atmosferiche,che si avverano in un paese,le quali affettano sensibilmente i nostri organi: la temperatura principalmente, e poi la umidità, i cangiamenti della pressione barometrica, la calma e l'agitazione dell'atmosfera, la tensione più o meno forte della elettricità atmosferica, la purezza dell'aria, il grado ordinario di trasparenza e di serenità del cielo.

Dipendentemente dalla temperatura media si distinguono sette specie di climi. Il clima dicesi *ardente* se la temperatura media è sopra 25°, *caldo* se tra 25° e 20°, *dolce* se tra 20° e 15°, *temperato* se tra 15° e 10°, *freddo* se tra 10° e 5°, *freddissimo* se tra 5° e 0°, *gelato* se comunque sotto 0°.

Influisce massimamente su i climi la differenza tra le temperature estreme annuali. Per che dicesi *costante* un clima,se la differenza di temperatura tra l'està e l'inverno si limita a 7 o 8 gradi : *variabile* se le oscillazioni non superano 20 gradi, ed *eccessivo* se estendonsi oltre.

269. **Massimo e minimo di temperatura.** È dunque importante la conoscenza delle più alte e delle più basse temperature osservate ne' diversi luoghi ; e però ne riportiamo alquante delle meglio assicurate.

Luoghi	latitud.	massimo	luoghi	latitud.	minimo
Isola Melville	74°, 43'N	15°,6	Pontichery	11°, 15'	21, 6
P. Elisabetta	69, 59	16, 7	Surinam	5, 38	21°,3
Eyafiord	66, 30	30, 9	Madras	13, 45	17, 3
Nain	57, 0	27, 8	Cairo	30, 2	9, 1
Mosca	55, 45	32	C. Buona Speranza	33,55S.	5, 6
Surinam	5, 38	32, 3	Aleppo	36, 12	— 4, 4
Nizza	43, 42	33, 4	Atene	37, 58	— 4, 0
Pietroburgo	59, 56	33, 4	Bagdad	33, 21	— 5, 0
Copenaghen	55, 41	33, 7	Firenze	53, 46	— 5, 3
Stocolma	59, 20	34, 4	Napoli	40, 52	— 5, 8
Milano	45, 28	34, 4	Roma	51, 54	— 5, 9
Praga	50, 5	35, 4	Pisa	43, 43	— 6, 3
Verona	45, 26	35, 6	Lucca	43, 51	— 8, 9
Torino	45, 1	36, 9	Nizza	43, 42	— 9, 6
Bologna	44, 30	37, 1	Londra	51, 31	— 11, 4
Pavia	45, 11	37, 5	Milano	45, 28	— 13
Roma	41, 54	38,	Bologna	44, 30	— 16, 9
Catania	37, 30	38, 3	Torino	45, 4	— 17, 8
Parigi	48, 50	38, 4	Copenaghen	55, 41	— 17, 8
Napoli	40, 52	38, 7	Parigi	48, 50	— 23, 1
Pisa	43, 36	39, 4	Stocolma	59, 20	— 26, 9
Palermo	38, 8	39, 7	Praga	50, 5	— 27, 5
Madras	18, 45	40, 0	Pietroburgo	59, 56	— 24
Cairo	30, 2	40, 2	Mosca	55, 46	— 38, 8
Fite	24, 0	43, 1	Cumberland House	54, 0	— 42, 2
Pontichery	11, 55	44, 7	Fort Entrepise	64, 30	— 49, 7
Bassora	30, 45	45, 3	Porto Elisabetta	69, 59	— 50, 7
Esne	25, 45	47, 4	Fort réliance	62, 46	— 56, 8

Intorno a che vogliam notare due cose.

1. L'uomo può reggere a temperature più discoste fra loro che non sono i punti della congelazione e della ebollizione dell'acqua. Imperocchè la temperatura più elevata di 47°,4 fu rinvenuta da Burckhardt nell'Egitto superiore, e la più bassa di — 57°,7 da Back nel N.America mentre andava in cerca del capitano Ross, le quali sono discoste 104°.

2. La incostanza e insalubrità del clima sono definite non tanto per la distanza fra le temperature estreme, quanto pel passaggio repentino dall' una all' altra. Ad esempio il 19 e 'l 20 decembre del 1859 fu intensissimo il freddo in tutta la Francia centrale: a Chambon (Creuse) il termometro segnò—24,a Parigi—17.Il 21 poi a Chambon come a Parigi salì a 0°; e furono immensi i danni cagionati da sì brusco cangiamento di temperatura.

270. **Distribuzione del calore, e cagioni delle sue variazioni.** La ineguale distribuzione del calore sulla terra è in ragion composta di molte cagioni. Esaminiamo le principali.

1. *Latitudine*. Ragione potissima e universale è la *latitudine*. La maggiore obbliquità dei raggi solari dall'equatore al polo fa diminuire nell'istesso senso la temperatura media. Ma v'è un compenso nella ineguale durata del Sole sull'orizzonte. Gli ardori diurni de' raggi pressochè perpendicolari del Sole tropicale sono temperati da una lunga notte di 12 ore; e per l'opposto la diuturna azione dei raggi obbliqui ne'lunghi giorni de'paesi nordici fa che vi si passi da un rigidissimo inverno ad una està bruciante.

Per che se la superficie terrestre non avesse ineguaglianze e fosse costituita da un solo fluido omogeneo,o da strati solidi aventi la stessa densità, colore e splendore, e uguale virtù di assorbire e di raggiar calore, le linee isotermiche, isoteriche e isochimeniche sarebbero tutte parallele all'equatore.

2. *Altezza del suolo*. Ascendendo dal livello del mare la temperatura si abbassa, tra perchè l'aria più rara è anche più diatermica, e perchè il calore perduto per raggiamento è men compensato da'corpi vicini di quello che succede nelle pianure e nelle valli. Humboldt nella porzione delle Ande compresa tra i tropici sino a 6000 metri di altezza à trovato l'abbassamento di 1° per ogni 187 metri di elevazione.

Veramente molte anomalie debbono essere prodotte sulle montagne dalla loro figura, e dalla qualità delle rocce. Laonde varrà meglio attenersi ai risultamenti delle osservazioni degli aeronauti. Or Gay-Lussac all' altezza di oltre 7000 metri trovò temperatura di — 9°,5, mentre sul suolo avea lasciato+30°,7; e scovrì aversi l'abbassamento di un grado

per ogni 188^m, 5	da	0^m	a 3800
185 , 8	da	3800^m	a 5700
161 , 2	da	5700^m	a 6900.

Di qui si comprende che l'altezza deve influire altresì a diminuire la differenza tra le temperature medie estive ed invernali,e tra le estreme del giorno e della notte. Questa cagione infatti coopera con la latitudine per rendere a Quito invariabile la temperatura di 15°,6 di està e d'inverno. Saussure riconobbe il primo questa legge sulle Alpi, ed opinò che dovesse svanire ogni differenza tra le stagioni ad un'altezza tra 6000 e 7000 tese.

3. *Orientazione del terreno*. La esposizione più fredda d'un paese è a Nord-Est , perchè i raggi solari vi pervengono appena per determinarvi la evaporazione, che è sorgente di freddo; e se guar-

da il Sud-Owest à la orientazione più calda, perchè è colpito dai raggi meridiani ardenti che non l'abbandonano insino al tramonto.

4. *Prossimità de'mari e de'fiumi.* L'aria sul mare in generale è men calda di està e men fredda d'inverno, che non è l'aria sulla terra. Di che è cagione la grande capacità dell'acqua pel calore, la evaporazione, e l'essere minori nell'acqua al confronto della terra così il potere emissivo calorifico, come la virtù assorbente. Infatti in alto mare nessun viaggiatore à osservato mai temperatura superiore a 31°. Costantemente poi è più dolce il clima de' paesi che giacciono presso al mare o sono intersecati da fiumi di quelli che sono dentro terra. Basti notare che la differenza di temperatura media tra la està e l'inverno non supera i 13° in Inghilterra, e va gradatamente crescendo ne'punti che sono più addentro nel continente; poichè in Francia perviene a 15°, in Germania da 16 a 20°, nella Russia occidentale a 23°, e in Siberia va oltre i 33°.

5. *Venti e pioggia.* A condizioni uguali un paese, in cui prevalgono venti caldi, avrà temperatura media più elevata d'un altro che è dominato da venti freddi. La frequenza poi delle piogge tende ad abbassare la temperatura. Ambe queste cagioni spiegano tutta la loro efficacia nelle regioni tropicali. Infatti il caldo è estuante sulla costa occidentale dell'Africa, temperato sulla costa orientale della Columbia, perchè gli alisei pervengono a quella infocati dalle sabbie del deserto, e alla seconda dopo esserne stati moderati gli ardori dalle acque dell'atlantico. L'abbassamento poi di temperatura colà essendo in ragione delle piogge, giunge a turbare il periodo annuo che regna nelle altre latitudini. Imperocchè in parecchi luoghi vi sono due massimi e due minimi di calore : i due massimi sul principio e sulla fine della stagione umida, i due minimi nel mezzo della stagione secca e della umida.

6. *Disposizione delle montagne e de'continenti.* La posizione relativa delle montagne può cagionare un doppio effetto, secondo che o servono di barriera insuperabile a'venti caldi o freddi,o pure permettendo loro il passaggio rendono meno urenti i primi, più rigidi i secondi. Ad esempio a gelare il clima della Siberia concorrono del pari con le altre cagioni l'essere essa liberamente esposta ai venti freddi del Nord, e l'essere protetta dall' Himalaya contro i venti meridionali.

Il protrarsi ampiamente il nuovo continente presso il polo Nord, a differenza del vecchio, che ne è separato dal mare glaciale, vale

a raffreddare assai più il primo al paragone del secondo. E la forma allungata de'continenti verso il polo australe cagiona forse la differenza di temperatura tra quell'emisfero e il nostro.

271. **Equatore termico.** Chiamo così Berghaus la linea, che congiunge i punti del globo di temperatura massima. Comunque non ne sia ancora ben noto l'andamento, per fermo non combacia coll'equatore terrestre. La temperatura media dell'equatore sulle coste è 27°,53; nell'interno dell'America qualche cosa oltre i 28°; e nell'interno dell'Africa 29°,2.

272. **Poli freddi.** Poichè nessun viaggiatore à raggiunto mai il polo, convien dedurne la temperatura calcolando la legge de'decrementi cogli aumenti di latitudine. Per tal modo il Kaemtz assegna all'aria del polo nord la temperatura di — 8°, supponendo che il mare si estenda fin colà; e —5 3/4 all'acqua marina.

Riflettendo però all'andamento irregolare delle isoterme ne consegue che il polo geografico non è il punto più freddo. Che anzi Brewster fu il primo a riconoscere due poli nord di massimo freddo, uno per ciascun continente, ed entrambi alla latitudine di circa 80°. Berghaus nell'atlante fisico assegna la temperatura di — 17°, 5 al polo freddo del vecchio continente sito al nord della Siberia, e — 19°, 7 al polo freddo del nuovo al nord dell'America. Nulla di certo si può affermare dell'altro emisfero.

273. **Calore dello spazio.** Quando fosse nulla l'azione termica del Sole sulla terra, questa non avrebbe che la temperatura dello spazio; la quale però non è costante nelle diverse regioni celesti, perchè in alcune sono rare le stelle, ed altre ne sono gremite. Or dalle osservazioni consegue che diminuendo la temperatura media del giorno secondo i termini della serie

20°; 10; 0; — 10; — 20; — 32,

si va pure attenuando la differenza di temperatura tra il dì e la notte, cioè a dire l'azione diurna solare, e divien successivamente

10°, 5; 9,0; 7,0; 6,5; 5,2; 3,4.

Il termine dunque della prima serie, che corrisponde al termine 0° della seconda, sarà la temperatura dello spazio. Fourier l'à determinata tra—50° e —60°. Pouillet con altro metodo l'à abbassata fin presso a —140°.

274. **Misura del calor solare.** Valenti meteorologisti si sforzarono di definire la quantità del calor solare. A tale scopo Saussure si valse dell'*eliotermometro*, ed Herchell dell' *actinome-*

tro. Pouillet all'istesso intento impiegò i suoi due *pireliometri*, l'uno *ad azione diretta*, l' altro *a lente*. Quello è un vase a parete sottilissima di argento o di rame argentato, esternamente annerito con nero fumo, con entro circa 100 grammi di acqua e un delicato termometro. L' altro è munito di lente per concentrare i raggi solari sul vase contenente l'acqua: ma questo à capacità maggiore del primo, e superficie curva per modo che, sia qualunque l'altezza del sole, i raggi cadano sempre perpendicolari sulla lente e sulla faccia del vase. Entrambi, prima e dopo che sieno esposti al sole, si sperimentano all'ombra per un tempo eguale, ad esempio per 4': avvertendo di agitare l'acqua perchè la temperatura ne sia uniforme. È necessario impiegare il pireliometro a lente quando l'aria non è calma.

Ecco le singolari conseguenze, a cui Pouillet è pervenuto.

1. L'aria comunque serenissima assorbe quasi la metà del calore che il sole invia alla terra, con piccole variazioni dipendenti dalla obbliquità de'raggi.

2. Il calore, che la terra riceve in un anno dal sole, sarebbe capace di fondere una crosta di ghiaccio della spessezza di circa 31 metro che tutta la ricoprisse.

3. Il calore emesso tutt'intorno dal sole in 1" fonderebbe una crosta di ghiaccio alta $11^m,80$, che si avvolgesse su tutto il disco solare; ed in un giorno un simile strato alto 4 leghe e 1/4.

275. **Temperatura terrestre.** L'azione riscaldante del sole non deve arrestarsi certamente alla superficie terrestre, ma penetra sotto essa e a diversa profondità e con vario periodo diurno e annuo secondo la sua potenza, e la natura e la virtù conduttrice del terreno. Basterà riferire intorno a ciò i risultamenti delle osservazioni del valente meteorologista Quetelet direttore dell'osservatorio di Bruxelles assai poco discordanti dalle comuni.

1. Alla profondità di metro 1,2 è il limite delle variazioni diurne.

2. La temperatura media annua de'vari strati terrestri è presso a poco uguale a quella dell'aria.

3. Ma crescendo le profondità in progressione aritmetica, le differenze tra la temperatura massima e la minima decrescono in progressione geometrica.

4. A profondità di 8 metri la variazione annua riducesi a circa 1°; a 16 metri è di appena $0^o,1$; e più sotto non avvertesi più variazione nel termometro. Colà è lo *strato di temperatura inva-*

riabile. La sua posizione è massimamente dipendente dalla differenza tra il calore estivo e l'invernale. Dove questa giunge solo a pochi gradi, come nell'America tropicale, lo strato invariabile è meno di un metro sotto la superficie. Nelle nostre latitudini è men profondo di 30 metri. Le osservazioni di questa natura più lungamente protratte sono quelle eseguite nel sotterraneo dell'Osservatorio di Parigi fin dal 1783 alla profondità di $27^m,6$. Un termometro costruito da Lavoisier, il cui bulbo à diametro di 7 centimetri, e 'l cannello è sottilissimo a segno che un grado occupa una lunghezza di 96 millimetri, e si può leggere un mezzo centesimo di grado, vi è rimasto immobile alla temperatura di $11°,82$.

5. Il massimo e 'l minimo annuo di temperatura alle diverse profondità accade ad epoche differenti, e sempre in ritardo relativamente al periodo nell'aria per la cattiva facoltà conduttrice del suolo. Alla profondità di 8 metri i termini sono invertiti in tanto che il massimo à luogo di gennaio, il minimo di giugno.

276. **Aumento del calore con la profondità.** Tutte le osservazioni mirabilmente si accordano in rivelarci, che la temperatura cresce con la profondità al di sotto dello strato invariabile. Furono esse eseguite nelle miniere, e primamente da Gensanne a Giromagny nel 1740. Phillips in un pozzo della miniera di carbone di Monk-Wearmouth a Newcastle profondo 456 metri sotto il livello del mare à trovato l'aumento di calore di 1° per ogni $32^m,4$ di profondità. Arago nel 1821 propose la prima volta d'istituire somiglianti ricerche ne'pozzi forati. Quello di Grenelle a Parigi profondo 547 metri à dato l'aumento di 1° per ogni 32^m; quello di Neu-Salzwerk presso Minden in Prussia, che scende 680^m, à dato 1° per ogni $29^m,6$; e l'altro di Prégny vicino a Ginevra profondo 221^m à dato pure 1° per $29^m,6$, sebbene il suo orifizio sia a 490^m sopra il livello del mare. Tanto accordo nella legge dell'aumento di temperatura è mirabile per condizioni così diverse; specialmente se si consideri che nelle miniere le correnti di aria fredda esterna, e ne'pozzi le acque infiltrantisi lateralmente, sono delle potenti cagioni perturbatrici.

Melloni ed io osservando nel pozzo forato della Regia profondo allora metri 327 avemmo 1° di aumento per 80^m, probabilmente per la cattiva conducibilità. Compiutosene il traforo alla profondità di 465 metri, l'acqua zampilla alla temperatura di 20°, cioè di $4°,3$ al disopra della temperatura media di Napoli. L'altro pozzo forato nel largo Vittoria dà il getto zampillante a 22°.

Se quella legge si serba costante a qualunque profondità, a 3000 metri avremo già l'acqua bollente; e proseguendo all' istesso modo il granito sarebbe in piena fusione alla profondità di 4 miriametri, il che corrisponde a circa 5 volte l'altezza della punta culminante dell'Himalaya; e nel centro del nostro pianeta la temperatura ascenderebbe a 200000°. Ad ogni modo lo stato di fusione al di sotto della crosta solida non si accorda con una temperatura regolarmente crescente.

Ipotesi di Fourier e di Poisson. Fourier e Poisson spiegano differentemente l'andamento del calore nel globo e il suo raffreddamento. Quegli ne vuole incandescente e ancora liquido il nucleo; la corteccia che fu prima a consolidarsi e a raffreddarsi con la sua virtù conduttrice vi sostiene il calore primitivo. Poisson all'opposto nega siffatto calore interno attuale, e sostiene che le parti fredde e solide dalla superficie man mano siensi precipitate verso il centro, e che questo sia stato il primo a raffreddarsi all'intutto in virtù di una doppia corrente discendente e ascendente. Ei dà ragione del calore de' pozzi e delle miniere supponendolo estraneo alla terra, e provenire dall'essersi questa trasportata col nostro sistema in una regione celeste più calda.

277. **Costanza della temperatura media del globo.** Qualunque sia il calore centrale e primitivo del globo, il solo termometro, se non fosse di scoverta recente, potrebbe rivelarci se il corso de' secoli produce cangiamento nella temperatura della superficie terrestre. È indubitato però che la temperatura media del globo intero è rimasta costante. Imperocchè qualunque aumento o diminuzione di calore cagionerebbe un cangiamento di volume, e quindi una diminuzione o un accrescimento nella velocità di rotazione terrestre, o altrimenti un'alterazione della lunghezza del giorno. Or che non vi sia stata neanco una variazione di un centesimo di secondo fin da' tempi d'Ipparco, ossia nel corso di 2000 anni, vien dimostrato tenendo conto delle ineguaglianze secolari del moto della luna nel calcolo delle ecclissi più remote. Adunque la temperatura media del globo nel corso di 2000 anni non à subito neanco la variazione di $\frac{1}{270}$ di grado.

278. **Influenza della temperatura sugli animali e sulle piante.** La geografia degli animali e delle piante, ossia la maniera di loro distribuzione sulla terra entro certi limiti geogra-

fici, dimostra chiaramente quanta influenza esercita su di essi la temperatura. In quanto ai primi, comecchè molte classi estendano a talento l'ampiezza di loro migrazioni dall'equatore al polo, pure specialmente i varî generi de'mammiferi distribuisconsi secondo le linee isochimeniche. L'alce a mo' d'esempio prospera in Isvizzera alla latitudine di 65°, non già in Siberia al di là di 55°; per tacere di molti altri esempî addotti da Ritter nella sua carta sulla propagazione de' mammiferi domestici e selvaggi di Europa.

Ma assai più evidente l'azione del calore si avverte nella *distribuzione delle piante*. Le regioni boscose dell'equatore con alberi giganteschi di 3 o 4 metri di diametro sono affatto caratteristiche; in esse, secondo il linguaggio di Humboldt pieno di poesia e di verità, la massa enorme annunzia l'antichità, e questa con privilegio unico si accoppia alla espressione di una forza sempre nuova.

Gasparin distingue in Europa cinque *regioni agricole* dipendentemente dalla temperatura; cioè quella degli *olivi*, delle *viti*, dei *cereali*, degli *erbaggi*, e delle *foreste*. Egli inoltre definisce per approssimazione la *quantità di calore*, di che ogni pianta abbisogna per menare i frutti a maturità nello scopo d'indicare all'agricoltura quelle, che van coltivate con successo ne' diversi climi.

La *vegetazione delle montagne* dà pure una brillante prova dell'influenza della temperatura. Secondo che questa diminuisce con l'altezza, si cangia all'intutto la fisonomia delle piante. Nelle Alpi il limite d'ogni cultura è all'altezza di 1000 metri: più in là boschi di faggi, di abeti, di pini, di larici fino a 2000 metri dal lato settentrionale, a 2400 dal meridionale: vengono poi le selve di salici, di alni, di ginepri e di rose alpestri. Per gradi van diminuendo le piante fanerogame relativamente alle crittogame, e in ultimo restano solo de'muschi sulle rocce generalmente nude.

Siffatta gradazione è costante sotto ogni parallelo, e molto più sorprendente nelle montagne tropicali, le quali, popolate alle falde di palme, di bambù, di felci arboree, riuniscono poi le flore di tutte le latitudini distribuite a zone in ragione dell'altezza, e terminano con le piante alpine.

FENOMENI AERODINAMICI.

279. Origine de' venti. Due forze reggono l'equilibrio atmosferico, la gravità comune a tutt'i corpi e la elasticità propria

degli aeriformi. Da esse risulta una densità decrescente con l'altezza, e costante per tutta l'ampiezza d'uno strato concentrico alla terra. Serbandosi questa legge di densità, l'aria è tranquilla: allorchè quell'equilibrio è turbato l'aria si muove, cioè si à *vento*, che appunto significa *corrente aerea*, o *aria in moto*.

Conosciamo due cagioni valevoli a turbar quell'equilibrio; o un cangiamento di temperatura, il quale altera la legge di densità e con essa la tensione, donde il moto dell'aria più calda verso la regione più fredda; o una rapida condensazione e precipitazione in pioggia del vapore costituente le nuvole, per che l'aria circostante accorre colà dove si è formata una specie di vuoto; ma il più delle volte questa seconda riducesi anche alla prima.

280. **Direzione de'venti.** La direzione del vento può essere per ogni verso, *ascendente* dalla superficie terrestre, *discendente*, *obbliqua*; ma più comunemente è orizzontale e prende il nome dal punto dell'orizzonte dal quale soffia. Così diconsi vento di Nord, di Sud, di Est, di Owest quelli che vengono dai punti cardinali; quelli che spirano dagl'intermedii chiamansi vento di N-Est, N-Owest, S-E, S-O; ai quali pure si danno i nomi di *greco* , *maestrale*, *scirocco*, *e libeccio*. Di questi soli tenevan conto gli antichi, come sembra inferirsi dalla torre ottangolare fatta edificare al dir di Vitruvio in Atene da Andronico Cireste, sulla quale moveasi un Tritone per indicare la direzione del vento; chiamavano *borea* o *aquilone* il N, *noto* o *austro* il S, *euro* o *subsolano* l'E, *zefiro* o *favonio* l'O; e componendo questi formavano il nome de'venti intermedii. Attualmente nella così detta *rosa de'venti* (fig. 319) ne sono segnati 32; quelli che frammezzano gl'intermedii a' primi otto prendono il nome da'due vicini, e diconsi ad esempio Nord-Nord-Est, Nord-Nord-Owest; distinguonsi altresì le *quarte*, le *mezze quarte* o le *quartine*, che valgono 11°,25'. Suole anche da' marini e dai meteorologisti esprimersi il vento con l'angolo che la sua direzione fa col meridiano verso est o verso owest, per l'intervallo di un quadrante, dicendosi N 10 E, N 20 Ow.

L'anemoscopio indica la direzione del vento, e consiste in una banderuola mobile attorno un asse verticale, che vien collocato in cima d'un edifizio, e si dispone parallela al vento. Sovente per comodo dell'osservazione il moto della banderuola si comunica ad un indice, che scorre lungo la rosa nell'interno dell'osservatorio.

Per osservare il vento nell'alto dell'atmosfera si guarda il cammino delle nuvole, che suole pure vedersi per riflessione entro uno specchio piano, su cui è segnata la rosa.

281. **Velocità de'venti.** È data dagli *anemometri*. Ve n' à diverse specie, ma il migliore è quello di Woltmann analogo all' istrumento destinato a misurare la velocità delle acque fluenti. Consiste cioè in un anemoscopio, a cui è aggiunto un albero orizzontale munito di due ale, che il fanno girare più o men rapidamente secondo la velocità del vento. Per contare il numero dei giri, l' albero è solcato da una vite perpetua movente un sistema di ruote dentate e per esse un indice. Per iscovrire poi la relazione tra il numero de' giri dell' albero e la velocità della corrente aerea, si fa uso del vento *artificiale* : tenendo cioè in alto l' istrumento nell'aria, mentre questa è calma, si corra in una pianura ; è chiaro che il mulinello si volgerà all'istesso modo e tanto precisamente, quanto se l'istrumento fosse immobile e l' aria si movesse con la stessa velocità. Con successivi sperimenti si potrà dunque comporre una tavola esprimente la relazione tra il numero de'giri dell'albero e lo spazio percorso in 1".

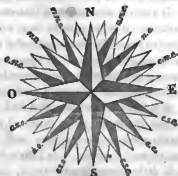


Fig. 319.

L'*annuario delle longitudini* di Parigi dà il valore seguente alle voci, con cui sogliono esprimersi le velocità de'venti:

Denominazioni	Metri percorsi in 1"	in un'ora	Miglia italiane percorse in un' ora
Vento appena sensibile	0m, 5	1800	0, 972
— sensibile	1, 0	3600	1, 944
— moderato	2, 0	7200	3, 888
— fresco	5, 5	19800	10, 692
— forte	10, 0	36000	19, 440
— fortissimo	20, 0	72000	38, 880
Tempesta	22, 5	81000	43, 740
Gran tempesta	27, 9	97200	52, 480
Uragano	36, 0	104400	56, 376
— spodestato	45, 0	162000	87, 480.

Dalla velocità del vento può inferirsene la forza *meccanica*, o

motrice, la quale è in ragione composta della velocità e della densità. Ma si ottiene anche direttamente ; ad esempio opponendo perpendicolarmente al vento un piano mobile attorno un asse orizzontale e gravandolo di pesi finchè resista al vento e si tenga verticale; o senza più leggendo in una scala il deviamento angolare.

Il valente meccanico d'Ons-en-Bray inventò nel 1734 un anemometro, il quale *segnava da se sulla carta non pure i venti che soffiavano per tutto un giorno, ed il loro cominciare e'l finire, ma pure le velocità o le forze di ciascuno.* Di tali anemografi ve n'à parecchi; quello ideato dal generale Patrelli direttore dell'osservatorio di marina è elegante e adatto allo scopo.

282. **Direzione media del vento.** È importante conoscere i venti dominanti in un luogo e'l loro effetto finale di spostare la massa atmosferica. Se fosse nota la direzione de' venti seguentisi nel corso del giorno, e la loro velocità, compostili insieme, come si fa delle forze in meccanica, la risultante ne esprimerebbe il valore. In mancanza di osservazioni, che ne definiscano la intensità, sarem contenti della *direzione media* determinata con uno de'metodi seguenti, il primo di Lambert, il secondo di Schouw.

Suppongasi 1000 la somma assoluta di tutte le direzioni osservate, e dividasi per essa la forza della direzione media. Se ad esempio N 52° E esprime la direzione media e 300 la intensità del vento, intenderemo che de' 1000 venti l' effetto è stato lo stesso che se 300 di essi avessero soffiato in quella direzione.

Altrimenti si osservino le direzioni de'1000 venti, e sieno ad esempio come segue:

N 100, N E 50, E 70, S E 190
S 200, S O 240, O 60, N O 90.

Poi si sommino quelli, che ànno la stessa direzione nell'intervalle di un quadrante a questo modo:

N+NE+NO = 100+ 50+ 90 = 240
E+NE+SE = 70+ 50+190 = 310
S+SE+SO = 200+190+240 = 630
O+NO+SO = 60 + 90+240 = 390

e di leggieri se ne inferisce essere predominanti i venti di SO.

283. **Duplice maniera di propagazione.** Il vento propagasi per *impulsione* o per *aspirazione*, appunto come l'aria sfugge da un serbatoio se vi fu compressa, o vi accorre se ne fu tolta. Nel primo caso si propaga secondo la sua direzione, nell'altro per l'opposta. E ne è argomento l'osservare che se il moto aereo ac-

cade per impulsione, arriva più tardi colà dove è diretto; se per aspirazione, giunge con ritardo nella regione da cui viene.

In tal proposito ci basti riferire la osservazione di Franklin. Un furioso vento di NE verso le 7 della sera soffiò in Filadelfia; e solamente 4 ore dopo spirò a Boston, la quale città trovasi a nord-est della prima. Ma di ambo i modi di propagazione addurremo esempii a dovizia.

284. **Diversità de' venti secondo le regioni.** I venti spirano con leggi diverse secondo i paesi, e van distinti in quanto alla mobilità di loro direzione in tre categorie, cioè in venti *costanti*, *periodici* e *variabili*. La cagione di tutti è una sola, la differente temperatura di due contrade vicine; ed il principio è il seguente: *se di due regioni contigue l' una si riscalda più dell' altra, accadrà sulla prima un vento ascendente, nell' alto dell'atmosfera un vento dalla regione calda alla fredda, un vento discendente sulla seconda, e verso il suolo una corrente dalla regione più fredda alla più calda*. L'aumento di tensione termica da un lato, di densità dall'altro, dan ragione di siffatta circolazione atmosferica. Si comprende poi che la corrente negli strati superiori è per impulsione, negl'inferiori per aspirazione. Se delle due regioni una si raffredda, la corrente è opposta. Vediamne le applicazioni.

1. *Venti costanti*. Tali sono gli *alisei*, che regnano soli nelle regioni tropicali alquanto lungi dalle coste, e soffiano dal NE nell'emisfero boreale, dal SO nell'australe. Essi estendonsi nel grande Oceano tra 2° e 30° di latitudine N, e S, con piccole variazioni dipendenti dalle stagioni. Sotto l'equatore v'è una zona di 4 gradi, che dicesi la *regione delle calme*, assai più ampia nell' atlantico, turbata solo da colpi di vento e da uragani. La costanza degli alisei colmò di costernazione e di orrore i compagni di Colombo, che trasportati incessantemente verso l' owest per mari sconosciuti disperavano di essere retrospinti da venti propizii in Europa.

Hadly e Halley àn dato degli alisei spiegazione adequata. Pel maggior calore della zona equatoriale vi si genera una corrente ascendente, che elide ogni altro soffio: d' onde colà calme perenni. L'aria poi delle regioni polari accorre incessantemente all' equatore: il che produrrebbe in verità un vento N nell' emisfero boreale, un vento S nell'australe. Ma per la velocità di rotazione diurna da occidente in oriente crescente dai poli all' equatore, quelle correnti polari indietreggiano nel rivolgimento terrestre;

l'effetto è come un vento di Est. Questo alla sua volta si compone co'venti polari, e li trasforma in venti di NE e di SE.

Perchè sia compiuta la cagione del fatto dobbiam trovare nelle alte regioni dell'atmosfera corrispondenti agli alisei un vento opposto di Owest, per la velocità maggiore di rotazione diurna che è dovuta all'altezza. E per fermo quasi tutt'i viaggiatori ne attestano l'esistenza sul Picco di Teneriffa; e Paludan e Bruce àn sovente osservato nuvolette elevatissime scorrere oppostamente agli alisei nelle contrade tropicali. Sono poi importanti fra gli altri i due fatti seguenti. Durante l'aliseo del NE si è veduta cader della cenere sull' isola Barbados sita nel limite orientale delle Antille eruttata dal vulcano dell' isola S. Vincenzo che le giace all'O; e similmente le ceneri del vulcano di Cosiguino nel golfo di Fonzeca nel Guatimala caddero in Kingston nella Giammaica.

2. *Venti periodici*. Diconsi *periodici* i venti, che si alternano in due opposte direzioni secondo le ore del dì, o le stagioni. Tali sono le *brezze*, i *monsoni*, gli *etesii*.

I marini chiamano *brezze* i venti, che nelle contrade prossime al mare soffiano alternamente dal mare e dalla terra secondo le ore del giorno perpendicolarmente alla costa, purchè il periodo non venga turbato da altro vento gagliardo. Ne è cagione il riscaldamento diurno e'l raffreddamento notturno, maggiori entrambi sulla terra che sul mare. Verso le 9 del mattino sorge una lieve aura dal mare, che si afforza per gradi, e giunge al suo massimo tra le 2 e le 3, ora del massimo di temperatura. Diminuisce e cessa ogni soffio verso il tramonto; ma durante la notte sorge un vento dalla terra al mare, che à la massima forza nell'ora della temperatura minima sul mattino. Tale soffio alterno succede tra noi ogni giorno di està, e si protende ad alquante miglia dalla costa dentro terra e sul mare. Nell'alto il vento va in direzione opposta a quello degli strati inferiori, e ce'l dimostra sovente il fumo del Vesuvio e quasi sempre il moto delle nuvole.

Ne'paesi montuosi vi sono pure altri venti a periodo diurno, i quali sono ascendenti di giorno, discendenti di notte, e perciò il Fournet gli à denominati *flusso e riflusso atmosferico*.

Col nome di *etesii* (*) distinguevano gli antichi i venti periodici del mediterraneo perpendicolari alla costa d'Africa. Soffiano dal Nord in està, dal sud in inverno, perchè di està i deserti africani,

(*) ἔτος, anno, stagione.

soprattutto quello di Sahara, si riscaldano più che il mare, e anche più si raffreddano d'inverno. Gli etesii estendonsi financo in Italia e in Grecia.

Si denominano *monsoni* i venti, che spirano ora per un senso ora per l'opposto nel mare indiano dipendentemente dalle stagioni, le quali in linguaggio malese diconsi *moussin*. Mentre al Sud dell'equatore nell'emisfero australe regna perennemente l'aliseo del SE, al N di esso di là della regione delle calme dall' ottobre all' aprile soffia pure l'aliseo di NE, che dicesi monsone di NE; ma dall'aprile all'ottobre gli succede il monsone di SO. Sono dunque i monsoni una perturbazione degli alisei; e vengono del pari cagionati dalla varia temperatura della terra e del mare in relazione colla diversa forma e natura dei continenti. Infatti all' Owest si protende l'Africa dal N. NE al S. SO ne' due emisferi boreale e australe; giacciono al nord le aridissime pianure di Arabia e di Persia: sporge al sud l'alto-piano dell'Indostan con al nord la massa immensa dell'Himalaya e l'alto-piano del Tibet; e all'est sono sparse grandi isole su cui si elevano alte montagne.

3. *Venti variabili*. A perturbazioni più complicate van soggetti gli alisei tra i tropici e i poli, e però *variabili* o *anomali* si chiamano i venti in queste contrade, perchè soffiano senza legge o con legge non conosciuta. Infatti gli alisei pervengono di està sino ad elevata latitudine, e più o meno secondo i luoghi e gli anni. Ma la corrente di owest delle alte regioni equatoriali si deve abbassare verso i poli, donde una preponderanza de' venti dell' owest. Basterà dare un'occhiata alla tavola seguente calcolata da Kaemtz, a persuadersi che il vento predominante è da un punto tra il S e l'O come se tra 1000 venti 175 ne soffiassero di là.

Regioni	Direzione	Forza	E : O come	N : S come
Inghilterra	S 66° O	198	1 : 1, 77	1 : 1, 33
Francia e Olanda	S 88 O	133	1 : 1, 52	1 : 1, 03
Germania	S 76 O	177	1 : 1, 69	1 : 1, 18
Danimarca	S 62 O	170	1 : 1, 54	1 : 1, 31
Svezia	S 50 O	200	1 : 1, 61	1 : 1, 44
Nord America	S 86 O	182	1 : 1, 86	1 : 1, 01

Il Dove non pure à dedotta la origine di tutt' i venti da quelle due del NE e SO, ma à dimostrato, che il vento nelle variazioni

successive in uno stesso luogo dell' emisfero boreale rivolgesi più spesso dall'E pel S all'O, e nell' australe dall'E pel N all'O. Molte osservazioni vengono in appoggio di questa opinione.

285. **Proprietà fisiche de'venti.** I venti che soffiano da lontane regioni ànno le proprietà caratteristiche del loro clima, e sono freddi o caldi, umidi o secchi, benefici o malsani. Così ad esempio viene rigido e impetuoso il vento da alte montagne e nevose, come il *bora* in Dalmazia, in Istria e in generale sull' Adriatico, il *mistral* nella valle inferiore del Rodano, e 'l *gallego* nelle Spagne.

Sovra tutti è rinomato il vento infocato dei deserti africani. In Arabia e in Persia il dicono *Samum* dall'arabo *samma*, che esprime veleno o caldo eccessivo; e in Egitto si denomina *chamsin*, che significa 50, perchè soffia d'ordinario per 50 giorni da aprile sino al principio della inondazione del Nilo. Esso è prodotto dall'eccessivo riscaldamento che il sole zenitale produce sulla sabbia quarzosa del deserto senza vegetazione, aridissima, e mobile. La quale sollevasi in dense nuvole e vorticose, che oscurano il sole, e si depone qua e là in monticelli cangianti di 3 a 4 metri di altezza. La traspirazione diviene eccessiva, e la evaporazione rapidissima; per che di presente svanisce l'acqua contenuta in otri porose. Di qui la morte d'intere carovane, e non per qualità venefiche che si abbia il vento secondo l'errore ingenerato ne'creduli abitatori delle città dagl'invidi beduini.

Il *solano* di Spagna e lo *scirocco* d'Italia sono probabilmente una estensione del chamsin.

FENOMENI ACQUEI.

286. **Variazioni della umidità atmosferica.** Le osservazioni igrometriche orarie eseguite in parecchi luoghi ci rivelano le leggi, secondo cui si cangia la umidità così assoluta che relativa dell' atmosfera, cioè della quantità di vapore, e della frazione di saturazione. Son le seguenti.

1. Nelle varie ore del giorno la umidità assoluta e la relativa compiono due periodi inversi. La umidità assoluta è minima al sorgere del sole poco dopo il punto della temperatura minima, cresce con l'altezza di quello, e d'inverno e ad aria calma diventa massima dopo il meriggio all'ora del massimo di temperatura: comin-

cia poi a diminuire infino al dì seguente. La umidità relativa varia con legge opposta: il suo massimo e'l suo minimo corrispondono al minimo e al massimo di temperatura.

La cagione de'due periodi è evidente: poichè la capacità dell'aria pel vapore è in ragione diretta della temperatura, non così la quantità dell' evaporazione, ritardata dalla pressione atmosferica.

2. Affatto diverso è il periodo diurno di està. La umidità assoluta perviene ad un massimo prima del mezzogiorno con qualche differenza secondo le stagioni; diminuisce, e diviene minima nel momento della temperatura massima: cresce di nuovo e raggiunge un secondo massimo verso sera: diminuisce una seconda volta insino al dì seguente. Il decremento nelle ore meridiane è dovuto alle correnti aeree ascendenti, le quali recando in su i vapori generatisi presso al suolo disseccano le falde atmosferiche inferiori.

3. La umidità assoluta è maggiore di està che d'inverno: inoltre decresce coll'aumento di latitudine, e alla stessa latitudine diminuisce coll'aumento dell'altezza sul livello del mare. La umidità relativa varia nella ragione opposta.

4. L'aria sul mare non è costantemente satura di vapore come parrebbe a prima giunta, e sarebbe in effetto, se l'acqua marina fosse pura. Ma i sali che vi sono sciolti ne rendono minore la evaporazione, o altrimenti la tensione del vapore è più debole di quel che sarebbe sull'acqua pura ad uguale temperatura. Il vapore, che per l'ordinario contiene l'aria sovrastante al mare, è quello che corrisponde a temperatura inferiore di 3°, 5. Ciò nulla ostante i climi marini sono sempre più umidi de'climi continentali.

287. **Rugiada e brina.** Si dice *rugiada* quel velo di umidità o di goccioline d'acqua, di che si trovano sul mattino irrorate le piante e gli altri corpi esposti all'aria libera e calma, massimamente in autunno.

Gli antichi studiarono un tale fenomeno, ed Aristotile ne assegnò le condizioni; soprattutto aria calma, e cielo sereno; ma volle che consistesse in minutissima pioggia cagionata dal raffreddamento notturno dell'aria. Gersten, e a'nostri dì Ambrogio Fusinieri ànno opinato che il suolo più caldo dell'aria emetta vapori, e questi vi ritornino trasformati in goccioline.

Attualmente però non può sostenersi come vera che la sola opinione emessa da Wells nel 1814, confermata da'fatti, e illustrata da Melloni. *Che la superficie del terreno e degli altri corpi sul suolo*

per raggiamento notturno si raffreddi, e però anche l' infima falda d'aria insino al punto di saturazione; *ed allora il vapore ne precipita in goccioline liquide*.

Il fondamento di questa teoria, cioè che il suolo ed i corpi irrorati da rugiada sono più freddi dell'aria, era stato dimostrato da Wells. Ripetè le esperienze il Melloni, il quale osservò tre cose importanti, per evitare ogni cagione di errore. 1.° De'due termometri l'uno deve avere il bulbo immerso nel suolo, e l'altro destinato a misurare la temperatura dell'aria dev'essere sospeso appena a pochi decimetri di altezza: poichè gli strati superiori d'aria si trovano più caldi degl'inferiori. 2.° La virtù raggiante del vetro fa che il termometro aereo segni temperatura inferiore alla vera ; e quindi conviene covrire il bulbo del termometro sospeso con lamina splendente metallica , la cui irradiazione è insensibile. 3.° Allorchè il bulbo del termometro si covre d'un primo velo di rugiada, la sua indicazione è anche più bassa della vera per la considerevole virtù raggiante dell'acqua.

Sperimentando con queste avvertenze non si trova differenza maggiore di due gradi tra la temperatura del suolo e quella dell'aria: ma essendo costante questa differenza, mercè una circolazione delle molecole aeree ascendenti e discendenti , entrambe si abbassano fino alla precipitazione del vapore.

Ciò premesso , è agevole coordinare alla cagione assegnata le circostanze tutte, che accompagnano la rugiada:

1. La serenità del cielo è la prima condizione richiesta alla formazione della rugiada. Se è ingombro di nuvole, il calore che i corpi raggiano verso la volta celeste vien compensato da quelle. Wilson il primo osservò diminuire la differenza di temperatura tra il suolo e l'aria all'apparir delle nuvole, e rendersi nulla quando il cielo ne è coverto interamente. È pure scarsa o nulla la rugiada sotto gli alberi o sotto una tettoia.

2. Conviene che l'aria sia calma. Il vento impedisce che il contatto dell' aria colle piante e col suolo si protragga quanto richiederebbesi al raffreddamento ed alla saturazione; che se pur comincia a deporsi un velo di rugiada, di presente vien dissipato dall' aria che affluisce non satura.

3. Presso a laghi o fiumi e nelle notti serene che seguono i giorni piovosi, la rugiada è più copiosa, perchè l'aria è più umida: per converso manca all' intutto ne' deserti di Asia e di Africa, non ostante il forte raffreddamento notturno.

4. La stagione più propizia alla rugiada è l'autunno; poichè alla copiosa evaporazione diurna cagionata dal calore abbastanza risentito succede una lunga notte, che favorisce il raffreddamento.

5. I diversi corpi debbono covrirsi più o men copiosamente di rugiada a norma del loro vario potere emissivo. Difatti nelle stesse condizioni i metalli restano asciutti, mentre il terreno, il vetro, le piante se'n vedono irrorate. I corpi filamentosi poi, come cotone, lana e simili si raffreddano oltre quanto converrebbe alla virtù raggiante, e si covrono abbondantemente di rugiada. Si distingue massimamente la tela di ragno. Ciò accade per la differenza costante di temperatura che deve regnare fra essi e l'aria che contengono, la quale non può circolare liberamente; e dippiù per la loro cattiva facoltà conduttrice. In generale uno stesso corpo si covre di rugiada più abbondante quando è men denso: così ad esempio il terreno preparato a coltura in preferenza del compatto.

Per misurare la quantità di rugiada si usa il *drosometro* (*), che suole essere un fiocco di lana, pesato diligentemente prima e dopo averlo esposto in circostanze diverse.

6. La deposizione della rugiada è ascendente; val quanto dire, prima se ne bagnano le erbette serpeggianti sul suolo, poi le piante meno umili, e restano asciutte le cime degli alberi di alto fusto. Poichè le falde sottoposte sono più umide, e'l raffreddamento è maggiore e più rapido essendo più sottile lo strato aereo soggetto al moto vorticoso ascendente e discendente. A grande distanza dal suolo è nulla la sua influenza.

7. La umidità deve essere massima in vicinanza delle piante nell'atto di formarsi la rugiada; Melloni à veduto l'igrometro a capello segnar da 90 a 98 gradi di umidità.

8. L'abbassamento della temperatura della rugiada indica secchezza. La maggiore secchezza ne' siti bassi fu osservata da Humboldt, Rose, e Ehremberg in Asia nella steppa di Platowskaia. Soffiava il Sud-Ow dall'interno del continuente: l'aria era a 23°,7, e la formazione della rugiada scese a 4,°3 sotto zero. Ciò voleva dire che l'aria conteneva appena 0,16 di vapor d'acqua.

Natura della rugiada. La rugiada è acqua purissima, tranne che sovente contiene un eccesso di acido carbonico oltre quello dell'acqua di pioggia, e talora qualche principio organico tolto alle piante su cui si raccoglie. Talora però si trova sulle piante un succo

(*) Dal greco δρόσος *rugiada*.

viscoso e dolce, che dicono *manna*, o *melume*, e riesce dannoso così alla vegetazione, come agli animali che di quelle si cibano. Fu questa la cagione della epizoozia in Isvizzera negli anni 1556 e 1669. Ma la sua origine non deve ripetersi dall' atmosfera. Talvolta secondo Leche è un liquore depositato sulle piante da miriadi d'insetti, e vi si dissecca per solversi di bel nuovo nella rugiada. Più spesso però, come opina Kaemtz, è il risultamento d'una scomposizione chimica del succo vegetale, il quale trasformasi in sostanza zuccherina, di una maniera analoga al cangiamento dell'amido in zucchero nella fabbricazione de' liquori alcoolici.

La *brina* non è altra cosa che rugiada gelata. Se il suolo per irradiazione si raffredda qualche grado sotto zero, il vapore si precipita gelando e assume la forma de'cristalli di neve. Adunque le medesime circostanze concorrono nella rugiada e nella brina. E perchè questa danneggia le piante, soprattutto i teneri germogli, si usa a preservarneli o una stuoia o una tenda, o meglio un debole fuoco di paglia e di legni umidi, il cui fumo impedisce il raffreddamento appunto come una nuvola.

Che la irradiazione sia capace di produrre tale un raffreddamento da congelare l'acqua per la sua differenza costante di temperatura con lo strato d' aria a contatto, è ben dimostrato dalla formazione del *ghiaccio artificiale* nelle Indie con esporre senza più nelle notti calme ad un cielo purgatissimo di vapori scodellini con acqua sopra uno strato di paglia o di canne secche.

288. **Nebbia.** Il vapore che esiste nell'aria lungi dal punto di saturazione, è invisibile ed elastico. Ma se novella copia man mano se ne svolge, e la temperatura dell' aria si abbassa, questa ne diviene satura, ed il vapore si rende visibile turbando la trasparenza dell'aria, e costituisce la *nebbia* o le *nuvole*.

Nebbia è quel vapore visibile, che generalmente sul mattino s'incontra sopra i laghi o i fiumi. È dovuto alla evaporazione copiosa, essendo la superficie terrestre più calda delle falde atmosferiche inferiori. Si forma dunque in circostanze opposte a quelle della rugiada. Coll'altezza del sole la nebbia si eleva divenendo più rara, e gradatamente svanisce; e ciò tra pel riscaldamento delle falde aeree, e per lo spandersi in un volume d'aria più esteso. Avviene a un dipresso il medesimo che del vapore da noi emesso espirando: di està resta invisibile perchè l' aria calda è atta a contenerlo elastico, non così d'inverno; ma a breve distanza dalle labbra sparisce solvendosi in ampio volume di aria.

Non occorre notare che la formazione della nebbia è accompagnata dal massimo di umidità.

Costituzione della nebbia. Che la nebbia sia formata di globetti acquei tennissimi, non v'è luogo a dubitarne. Poichè se con lente di forte ingrandimento osservasi o la nebbia naturale, o quella che sollevasi da un liquido caldo, e oscuro o colorato, per esempio dal caffè, potrà distinguersi agevolmente la forma sferica de'globicini.

Ma grave dissensione regna tra i fisici intorno alla loro costituzione. Imperocchè alcuni ritengono la opinione emessa da Halley e sostenuta da Saussure, Kratzenstein e Käemtz, che sieno delle sferette formate da un inviluppo acqueo e contenenti aria nell'interno: le dicono perciò *vapori vescicolari*. Ne àn misurato non pure il diametro, ch'è vario ne'diversi mesi dell'anno, minore di està che d'inverno; ma si sono spinti a calcolare la grossezza dell'inviluppo acqueo deducendolo dagli anelli iridescenti che essi presentano analogamente alle bolle di sapone. Altri per l'opposto con Monge e Dalton vogliono interamente acquei questi globetti, e fra tutti il De Tessan, Daguin e Moigno dichiarano senza fondamento e assurda la prima opinione, e non finiscono di maravigliarsi che ancor si parli delle *vescichette vaporose* come d'una verità naturale. E per fermo l'apparenza degli anelli può bene attribuirsi alla tenuità de'globetti nebbiosi, come pure da essa può derivare il non aversi sovente iride con nebbia nelle condizioni in cui si osserva con la pioggia. Ma come si può credere che la precipitazione dei vapori produca delle vescichette, mentre mai non accade vederne nella precipitazione de' corpi sciolti ne' liquidi? E dopo che sien formate come persistono per lunghe ore senza che o la pressione esterna le schiacci, o la interna le dissipi?

289. **Nebbia secca**. È un singolare fenomeno, il quale à di comune con la nebbia non altro che le sembianze in quanto al turbare la trasparenza dell'aria; ma l'igrometro non indica straordinaria umidità, anzi sovente l'atmosfera è secchissima. Tali furono la nebbia secca del giugno 1783 contemporanea in diverse contrade di Europa, e durò per circa un mese intero pressocchè immobile, non ostante l'imperversare delle procelle; e l'altra men fitta e men generale del 1831. È notevole la coincidenza della prima col tremuoto delle Calabrie, e colla uscita dal fondo dell' Oceano d'una nuova terra presso l'Islanda; la seconda pure si accompagnò colla produzione d' un vulcano sottomarino al mezzodì di Sicilia.

Al presente però ogni dì si avvertono più che altrove in Germania, ma pure in qualunque punto del globo : gli annali scientifici sono pieni di tali relazioni. L'azzurro del Cielo svanisce, ma non biancheggia come nella nebbia ordinaria, sebbene è inquinato da un miscuglio anomalo di colori. Il sole può guardarsi impunemente, le ombre degli oggetti terrestri vicini sono mal definite,i lontani si covrono d'un velo azzurro.Sovente si avverte un odore di solfo o di creosoto, come a Parigi nel maggio e nel giugno 59.

Delle nebbie secche si assegnano ragioni tanto diverse, che sembrano piuttosto svariati fenomeni indicati con un nome solo. Quelle prime si vogliono attribuire alle materie incoerenti vulcaniche lanciate a grande distanza , o comunque altrimenti alle eruzioni vulcaniche. Le nebbie di Germania e di Olanda si dicono cagionate dall'abbruciamento delle torbe ; nè deve recare sorpresa, poichè in queste contrade si è calcolato che la quantità de' prodotti della combustione ascende ogni anno a presso 1800 milioni di libbre. Le celebrate nebbie di Londra, comecchè di accordo colla umidità del paese, purtuttavolta secondo il Kaemtz sono dovute indubitatamente all'enorme consumo di carbon fossile.Tra le altre è ricordata quella del 21 febbraio 1832 quando il giorno nulla si scopriva a breve distanza, e di notte i fanciulli con torchi accesi si trastullavano dicendo che *ivano in cerca della illuminazione*, la quale pure era solennissima pel celebrarsi la nascita della regina.

Oltre queste cagioni ve n'à di altre assolutamente strane o ignote. Moigno sospetta pure sia un fenomeno cosmico e periodico.

290. **Nuvole.** Ciò ch'è la nebbia nelle falde inferiori dell'atmosfera, sono le *nuvole* nelle superiori: anch'esse son costituite di vapore visibile , ed una è l'apparenza : a chi sta immerso in una nuvola sembra di essere avvolto da densa nebbia.

Genesi delle nuvole. È agevole spiegare la formazione delle nuvole co'principii generali che reggono la precipitazione de'vapori, soprattutto col mescolamento di due masse aeree diversamente calde, e coll'abbassamento di temperatura.

La prima di queste due cagioni è più frequente, e rende ragione della formazione delle nuvole in piena aria. Poniamo infatti che ad un vento freddo ne succeda un altro caldo ed umido : la mescolanza delle due masse aeree avrà temperatura media, e però tanto bassa da non poter contenere tutto il vapore a stato elastico, e si forma nuvola. Ciò accade immancabilmente allorchè l'aria calda è

satura di vapore. Non sempre dunque il vento trasporta le nuvole; sovente si formano con esso colà dove appariscono.

La seconda cagione suol produrre le nuvole in cima ai monti, dove regna un' atmosfera più fredda; e ciò anche nelle regioni dove la pioggia è nulla o non frequente, e quindi sono rare le nuvole, come nell'interno dell'Asia e dell'Africa. Ma pure sulle montagne l'incontro di due correnti opposte di diversa temperatura fa sembrare stazionarie le nuvole, mentre di fatto si formano da un lato, e si dissipano dall'altro per l'incontro di un'aria calda e non umida. È questo uno de' più sorprendenti fenomeni, di cui sono stato spettatore sulle Alpi, e che avea eccitato le maraviglie di Saussure e di de Buch.

Sospensione delle nuvole. Sieno vuote, sieno piene le particelle delle nuvole, saranno sempre più pesanti dell' aria; e pure le vediamo librate nell'atmosfera, e correre con essa. Delle tante spiegazioni di tal fatta la sola che risponde al vero è la seguente. La sospensione delle nuvole avviene per una maniera di *equilibrio mobile* in tanto che nel discendere le particelle acquee pel loro peso vengono ad incontrare falde aeree più calde, e passano a stato elastico: divenute allora più leggiere salgono di nuovo aiutate in ciò dalle correnti ascendenti, e pervenendo nelle falde superiori più fredde ritornano visibili. Una nuvola dunque non è altrimenti una massa in riposo, ma in flusso continuo ascendente e discendente, e sempre in atto di formarsi e di svanire.

Tale risposta nulla lascia a desiderare se aggiungasi la forza motrice dell'aria, che è atta a spingere, come diremo, a grande distanza corpi assai più pesanti delle tenuissime particelle di vapore, quali sono le ceneri de'vulcani.

291. **Forma delle nuvole.** Comunque sia svariatissima la figura delle nuvole, l'inglese Howard le riduce a tre principali, che chiama *cirro, cumulo*, e *strato*, a cui ne aggiunge altre quattro subordinate, il *cirro-strato*, il *cirro-cumulo*, il *cumulo-strato*, e il *nembo*. La quale divisione è importante per le condizioni diverse, in cui esse si generano, e per caratteri speciali.

1. *Cirro*, che vale nuvola pennuta: è formata di sottili e rari filamenti biancastri, che ora si presentano come pennacchio, or come ricci inanellati. Comparisce nella sua forma più pura allorchè un tempo serenissimo incomincia a guastarsi. È la più alta nuvola, che sovente trovasi a 8000 metri di altezza. Si opina sia

composta, a differenza delle altre nuvole, di particelle di neve: tra perchè i cirri spesse volte sono d' un bianco così splendente da abbagliare la vista, e soprattutto perchè in essi appariscono gli aloni ed i parelli, il quale fenomeno vedremo esser prodotto dalla rifrazione luminosa sulle particelle di ghiaccio.

2. *Cumulo*, o nuvola accumulata. Si mostra, se è semplice, come un emisfero sopra un piano orizzontale; ma d'ordinario molte insieme si ammassano con forme svariatissime e compongono come delle montagne rotondate ad orli ben definiti, dove luminosi, dove foschi. Sogliono apparire di està con tempo bello, e son dovute alle correnti ascendenti, che danno loro forma rotondata. Nel mattino sono basse ed isolate: ascendono verso il mezzodì, e si accumulano: la sera si abbassano di nuovo. Kaemtz sulle Alpi vide sovente di mattina a ciel sereno i cumuli sottoposti: verso il mezzogiorno fu avvolto da nebbia: e più tardi il Cielo era ingombro di nuvole.

3. *Strato*, che significa nuvola stratificata. À figura di fascia avente sopra e sotto due lembi orizzontali. Apparisce ne'dì sereni di està al cader del sole, specialmente su i luoghi umidi, e scompare col nuovo giorno.

4. *Cirro-strato;* è una nuvola sfioccata stratiforme, sempre orizzontale, che sovente sembra più densa assai de'cirri, perchè quando è all'orizzonte ne vediamo lo spaccato verticale.

5. *Cirro-cumulo*, o nuvole a fiocchi accumulate. Si compone di nuvole sottili rotondate disposte in serie, alle quali si dà volgarmente il nome di *pecorelle*, non pure fra noi ma anche in Inghilterra.

6. *Cumulo-strato*. Vengono così detti i cumuli ammassati, di aspetto blu grigio, o nero, massimamente all'orizzonte.

7. *Nembo*, o nuvola di pioggia. In esso risolvesi il cumulo-strato, divenendo più denso, di color grigio più uniforme, e nel margine filamentoso: non più vi si distingue la figura di ciascun cumulo.

I cirri, i cumuli, gli strati, e 'l nembo sono espressi rispettivamente con 1, 2, 3 e 4 uccelli dalla fig. 320.

292. **Pioggia.** Se l'aria divien satura di vapore oltre un certo limite, le goccioline acquee crescono di mole e di peso, e cadono in *pioggia*.

Udometro. È importante definire come elemento del clima di un paese la quantità di acqua che cade, e le medie secondo le stagioni e le latitudini. L'istrumento che ne dà la misura dicesi *udometro* (*),

(*) Dal greco ὕδωρ *acqua*, e ὑετός *pioggia*.

pluviometro, *imbrometro*, o *ietometro*, ed à più forme poco fra loro diverse. Quello dell'osservatorio di Parigi consiste in un vase ci-



Fig. 320.

lindrico M (fig. 321, 322), il cui coverchio è un cono rovesciato B con un foro al vertice, pel quale l'acqua può raccorsi, ma non è libera ad evaporarsi perchè racchiusa: di lato v'è un cannello di vetro A, nel quale l'acqua raccolta perviene alla stessa altezza che nel serbatoio. Tale altezza segna la spessezza dello strato di pioggia caduta nel luogo, e che covrirebbe il suolo se non accadesse evaporazione o infiltramento.



Fig. 321.



Fig. 322.

Ogni mese o ogni giorno suole osservarsi il pluviometro. Ma si à più esattezza con misurare la quantità di acqua dopo le singole piogge, al qual fine vale meglio raccorre l'acqua in una vasca esposta liberamente e poi in un tubo graduato essendo definita la relazione di capacità tra quella e questo.

293. **Distribuzione delle piogge.** L'udometro ci à rivelato parecchi teoremi importanti: ecco i principali.

1. *Pioggia a diverse altezze*. In generale nelle stesse condizioni cade più copiosa la pioggia in un sito basso che in uno elevato; come rilevasi ad esempio dai due pluviometri dell'osservatorio di Parigi collocati uno sul tetto l'altro nel cortile. E ne è cagione l'ingrossarsi delle gocciole cadenti più fredde perchè vengono dall'alto, precipitando sovr'esse novello vapore dagli strati aerei sottoposti che sono più umidi. Ma può avvenire anche l'opposto, se gli strati inferiori sono molto secchi: nel quale caso le particelle acquee in parte si svaporano. In condizioni più favorevoli possono svanire interamente; per che vediamo talvolta in distanza che da una nuvola piove, e la pioggia non perviene al suolo.

2. La *quantità di acqua nelle singole piogge* è sommamente diversa. Fra i tropici le piogge sono più dirotte. Humboldt fu spettatore d'una pioggia al Rio negro che in 3 sole ore versò 4 centimetri di acqua. In un dì si raccolgono nell' udometro a Bombay ora 10 ora 30 centimetri di pioggia. Questa quantità è enorme, al paragone di quanta ne cade fra noi, dove se in un giorno arriva a due centimetri inonda i siti bassi.

3. La *latitudine e le stagioni* esercitano grande influenza sulla maniera di distribuzione della pioggia.

Primamente fra i tropici le piogge sono regolari così da serbare un periodo costante, e l'anno resta diviso in due stagioni, la *secca* e la *piovosa*. Allorchè il sole è allo zenit, la corrente ascendente vigorosa porta in alto una copia immensa di vapori, i quali pervenuti colà, dove l' aria è fredda, si condensano in grossi cumuli, che si rompono in dirotte piogge. Il sole dunque sorge con bel tempo, verso il mezzodì si copre di nuvole che presto si risolvono in pioggia, e poi tramonta novellamente a ciel sereno. Regna allora una umidità superiore a quanto può dirsi anche nell' interno dell'Africa: le vesti e checchè altro, se non si tengono al fuoco, si bagnano, e gli abitanti, secondo la frase del Kaemtz, sono come in un bagno a vapore. Corrono di quel tempo malattie endemiche micidiali, specialmente agli stranieri.

Presso ai tropici il sole passa due volte per lo zenit a breve intervallo di tempo, e perciò la stagione piovosa è una sola con due massimi; ma a minore latitudine e sotto l'equatore i due passaggi sono più discosti fra loro, e quindi sono due le stagioni piovose, due le secche. Debbono esservi però in quanto alle epoche delle differenze locali secondo le posizioni: in Africa presso l'equatore

comincia la stagione piovosa in aprile, verso la metà di giugno nella regione del Senegal: nell'America poi all'entrar di marzo in Panama, a mezzo giugno in San Velas di California.

Nell'Indostan le stagioni piovosa e secca si alternano al cambiar de'monsoni, ed oppostamente sulle due coste occidentale ed orientale. Nella prima regna la stagione piovosa col monsone del SO, che le viene dal mare, nella seconda col monsone del NE.

Sull'Oceano, dove spira senza anomalie l'aliseo, mai non piove, e l'atmosfera vi è sempre non pure serena, ma di quell'azzurro carico, che distingue il cielo tropicale ne'continenti durante la stagione secca. Adunque le masse d'aria, che vanno nell'alto dall'equatore ai poli sono abbastanza secche, avendo perduto tutta l'acqua nel sito stesso, in cui si sollevarono.

A maggior latitudine la legge della frequenza delle piogge è affatto diversa. Mentre ai tropici la stagione piovosa coincide con quella che noi chiameremmo estiva, di qui da'tropici la pioggia è distribuita in tutte le stagioni, e variamente ne'singoli paesi, come rilevasi dal seguente specchietto di Kaemtz; le quantità di pioggia sono espresse in centesimi.

	Inverno	*Primavera*	*Estù*	*Autunno*
Inghilterra occidentale	26,4	19,7	23,0	30,9
Inghilterra centrale	23,0	20,6	26,0	30,4
Francia orientale	19,5	23,4	29,8	27,3
Francia occidentale	23,4	18,3	25,1	23,3
Germania	18,2	21,6	37,1	23,2
Pietroburgo	13,6	19,4	36,5	30,5

4. *Condizioni locali,* come sarebbero vicinanza del mare, presenza delle montagne e loro giacitura, predominio di certi venti, vegetazione più o meno rigogliosa, fan variare la frequenza e la quantità della pioggia.

È agevole infatti vederne l' applicazione. In Europa dall' occidente in oriente la quantità annua di pioggia diminuisce così: mentre sulle coste di Francia del Belgio e di Olanda essa arriva a 70 centimetri, nel loro interno è 68, nelle pianure di Germania 56, e in Pietroburgo e Ofen soli 36. Il medesimo risultamento si à calcolando pei diversi paesi il numero dei giorni piovosi nell' anno: diminuisce a questo modo: l'Inghilterra e l'Ov. di Francia ne conta 152, l' interno di questa 147, la Germania piana 141, Ofen 112, Kasan 90, e l'interno della Siberia appena 90.

Ma soprattatto le penisole scandinava e italiana mostrano le perturbazioni delle piogge prodotte dalle condizioni locali. Le piogge non sono abbondanti nella Svezia, rimanendo sempre al di sotto di 56 centimetri ; ma nella Norvegia oltre ogni dire copiosissime : a Berghen la media annuale ascende a 232, quanta non cade in parecchi luoghi tra i tropici.

Somiglianti anomalie si avverano in Italia per la quantità di pioggia e pel numero de'giorni piovosi, come rilevasi dal seguente lavoro di Schow estratto dal suo quadro del clima d'Italia.

LUOGHI	LAT. BOR.	LONG. EST	ALTEZZA	TEMP. M.	PIOGGIA	DÌ PIOV.
Milano..........	45° 28′	6° 51,	147ᵐ	12° 5	98cᵐ 47	72
Molfetta.........	41 12	14 16	—	16 3	54 16	76
Nap. Capod.....	40 52	11 53	155	15 7	79 72	118
Nicolosi	37 37	12 46	707	18 0	66 32	66
Nizza............	43 42	4 57	20	13 6	139 95	52
Padova	45 24	9 32	25	12 5	86 23	97
Palermo.........	38 7	11 1	74	17 3	57 97	120
Parma	43 48	8 0	49	13 5	70 60	93
Pavia............	45 11	6 49	103	12 8	98 98	—
Pisa..............	43 42	8 4	53	14 7	104 79	—
Roma, Coll.R...	41 54	10 8	51	15 5	80 49	116
Siena,Belved...	43 19	9 0	325	13 4	95 02	111
Trento...........	46 4	8 45	230	42 1	109 47	—
Trieste...........	45 39	11 26	87	13 0	111 47	51
Torino	45 4	5 22	278	11 6	95 40	—
Udine............	46 4	10 54	130	13 8	180 85	—
Venezia	45 26	19 0	6	13 1	96 88	81
Verona	45 26	8 39	63	13 8	93 55	111
Vicenza	45 33	9 13	50	12 2	111 44	—

Venti anni di osservazioni fanno distribuire a questo modo la quantità media degli 80 centim. di pioggia, che cadono in Napoli: primavera 27, està 9, autunno 23, inverno 21.

294. **Piogge problematiche.** V'à delle piogge maravigliose, o problematiche: per alcune il problema è sciolto con certezza o con probabilità, per altre è assurdo: nè v'è risposta più acconcia a sbrigarsi dalla molestia di chi racconta cotali fandonie delle parole del Kaemtz: *sulla fede vostra credo tale cosa, che affatto non crederei se cogli occhi miei l'avessi veduta.*

Pioggia senza nuvole. Il venire giù gocciole di acqua senza nu-

vole non è fenomeno sì raro e maraviglioso come si crederebbe. Humboldt lo à veduto *sovente*, Kaemtz *almeno una volta l' anno*, ed io quì in Napoli due volte a cielo sereno ma d'un aspetto biancastro e tetro, mentre l'igrometro indicava il massimo di umidità. La precipitazione del vapore invisibile si fa istantaneamente in grosse gocce che cadono snl suolo.

Piogge misteriose. Le antiche istorie e le recenti offrono sovente relazioni di piogge, che chiamano di solfo, di sangue, di biade,e simili; ma non piovono veramente, nè sono desse quelle sostanze che si trovano dopo una pioggia sul suolo, sibbene altre, che ne ànno appena il colore o le sembianze. Così la pioggia di solfo è dovuta a polline giallo di piante varie a norma dei mesi; secondo Schneider proviene dagli ontani e dalle avellanein marzo e aprile, da' pini da' ginepri e dalle betulle in maggio e gingno, da un licopodio e dalle diverse specie di equiseto in luglio e agosto.Le macchie color rosso sanguigno,che vorrebbero dire pioggia di sangne, son dovute ora a pianticine microscopiche, ora ad animaletti acquatici, e talvolta a polveri colorate da ossidi metallici trasportate da'venti. Così pure la pioggia di biade consiste in tuberetti trasportati dalle acque scorrenti sul snolo; infatti di tubercoli del *ranunculus ficaria* si trovò asperso il terreno di Greisan nella Slesia dopo un temporale nel giugno 1830. Si dà ragione della pioggia di animali come di rane, di pesci, di bruchi, con dire che o venner fuori dal terreno arido al cader della pioggia, o furono menati dalle acque fluenti, o trasportati coi venti.

295. **Variazioni barometriche.** Essendo l' atmosfera in continuo equilibrio tra per le sue correnti e per la precipitazione de'vapori, non può rimanerne costante la pressione così da un luogo a un altro, come pure in un medesimo luogo. E difatti il barometro presenta delle variazioni *secondo le latitudini*, e per una medesima contrada delle variazioni *periodiche* e delle *anomale*.

1. *Variazioni periodiche.* Osservando il barometro di ora in ora si avverte in esso un periodo *diurno* ed un periodo *annuo.* Un cenno di tali oscillazioni si trova fatto da Beale sin dall' anno 1666, ma il Chiminello da Padova fu il primo a scovrirle con osservazioni orarie. Tra i tropici l'altezza barometrica presenta due *massimi:* uno alle 9 del mattino, l'altro alle 10 1/2 della sera. Cotesto periodo è tanto esatto che, al dire di Hnmboldt, *si può determinare l'ora colla sola ispezione del barometro*, massimamente di giorno;

e sì costante che nè tempeste, nè piogge, nè tremuoti nò' l turbano; e regna del pari nelle regioni basse, e sugli acrocori elevatissimi. A maggior latitudine la oscillazione diurna è men regolare, ed anco meno sensibile, poichè ne decresce l'ampiezza da millim. 2,98 a 0,41 andando dall'equatore verso il N al parallelo 70mo.

Perchè sulle Alpi si era osservata una inversione nella curva delle variazioni diurne barometriche, fu giudicata generale questa legge. Ma i fratelli Schlagintweit (1855-58) àn trovato sull' Himalaya all'altezza di 6000 metri, che le ore del massimo e del minimo sono assai vicine a quelle della pianura, sebbene le differenze tra le variazioni estreme sieno alquanto minori.

V'è pure un periodo annuo secondo le stagioni; poichè si è osservato che l'altezza barometrica è minore di està che d' inverno.

2. *Altezza media secondo la latitudine.* L'altezza media del barometro varia con la latitudine: a motivo delle correnti ascendenti, è minima all' equatore, cresce sino al parallelo 40 o 45 per diminuire di nuovo. Congiungendo i luoghi, pe'quali sono le stesse le differenze medie fra le altezze estreme mensili, si ànno le *linee isobarometriche* del Kaemtz.

3. *Variazioni anomale.* Il barometro va soggetto altresì a variazioni non periodiche, che sovente sono repentine e considerevoli, anzi assai maggiori delle periodiche. Se ne avvide Torricelli stesso, che nell' istrumento da lui inventato la colonna di mercurio scendeva con la pioggia, saliva col buon tempo. D' allora in poi prevalse la opinione che tale relazione fosse costante e generale. Ma non è così veramente; poichè se per l'ordinario in Europa i venti umidi e piovosi fanno abbassare il barometro, ed il determinano invece ad ascendere i secchi e sereni, succede precisamente l' opposto secondo Flinders sulle coste della Nuova Olanda, come pure alle foci del Rio della Plata; in quanto che i venti secchi di terra il deprimono, gli umidi dal mare il sollevano.

Cagioni delle variazioni barometriche. La cagione vera di tutte le variazioni barometriche è riposta nel cangiamento di temperatura delle diverse colonne atmosferiche secondo il seguente principio enunciato da Kaemtz: *Se in un luogo il barometro si abbassa, vuol dire che è divenuto più caldo de' luoghi vicini, sia che la temperatura di quello è cresciuta, sia che è diminuita la temperatura di questi; e per l' opposto l' alzarsi del barometro in una contrada dinota che questa è divenuta più fredda de' luoghi adiacenti.* Egli il

dedusse da rigorose osservazioni fatte in paesi differentissimi per ogni maniera di condizioni, quali sono Ofen in Ungheria, Bagdad in Siria, Eyafiord in Islanda, Cambridge nel Massachussets, Santa Fè di Bogota nell'America tropicale.

Riesce agevole applicare cotesto principio a dare conto delle variazioni diurne e annue, come pure di quelle dipendenti dalla latitudine. È evidente così il nesso tra i diversi venti e le oscillazioni barometriche, e come dentro certi limiti possa valere il barometro alle indicazioni del tempo: v'è bisogno però di osservazioni speciali pe' singoli luoghi. Intorno a che è a notare che i venti esercitano influenza sul barometro e per la temperatura e per la copia de'vapori che recano: se quella fa diminuire l'altezza barometrica, questi l' accrescono. Ne'nostri climi dunque, poichè coi venti caldi e piovosi scende il barometro, la prima cagione è più potente della seconda. Allorchè poi con le piogge l'aria si scarica de'vapori, la pressione diminuisce anche più ; e però durante la pioggia l'altezza barometrica in generale è minore di quella che corrisponde alla media del vento attuale.

Il repentino dilatarsi dell'aria per aumento di calore, donde il precipitoso accorrere delle falde aeree vicine, cagiona una depressione massima ed istantanea nel barometro, e specialmente quella irrequietezza nel mercurio, che forma il carattere speciale indizio di una tempestá. Krusenstern asserisce di essere sempre riuscito a prepararsi navigando contro una imminente procella colla ispezione del barometro; e Scoresby ugualmente con lo stesso mezzo à predetto le tempeste diciassette volte su diciotto.

296. **Meteorografo di Secchi.** Quattro strumenti in uno compongono il *meteorografo* di Secchi , il quale à questo di speciale, che segna sopra una medesima carta i quattro grandi fenomeni meteorologici, la *pressione atmosferica*, la *direzione* e la *intensità* o *velocità del vento*, la *temperatura dell'aria*, e la *pioggia* ; permette così di vederne la relazione e le influenze scambievoli.

La parte principale del barografo è il *barometro a bilancia*, nel quale si misurano le differenze della colonna di mercurio dalle variazioni di peso del mercurio stesso. S'intende come all'asta della bilancia, che variamente s'inchina, possa unirsi una punta che registri le oscillazioni.

L' *anemografo* è fondato sul mulinello di Robinson a emisferi vuoti; comunica mediante l'elettrico con un contatore a punta che

segna una linea, sulla quale cinque millimetri di lunghezza rappresentano velocità di circa 1500 metri. La direzione del vento è indicata col gioco di quattro elettro-calamite corrispondenti ai quattro rombi principali della rosa dei venti.

Il *termografo* segna le temperature mediante le variazioni di lunghezza in un filo metallico col metodo di Creil.

Finalmente l'*imbrografo* registra il momento della caduta della pioggia e la sua durata mediante il moto di una matita cagionato dal peso stesso dell'acqua caduta: il volume o la quantità di acqua si deduce dalla graduazione di un serbatoio speciale.

Già messo in atto tale strumento nell'osservatorio del Collegio romano fa dedurre o intravedere le conseguenze seguenti.

1.° Il paragone delle curve barometrica e anemometrica dimostra che ogni variazione barometrica comunque lieve si accompagna con un trasporto proporzionale della massa atmosferica.

2.° La velocità con cui sale o scende la colonna barometrica è legata con la velocità del vento. I venti di sud sono sempre men violenti de' venti di nord : quelli non oltrepassano 25 chilometri l'ora, questi pervengono sovente a 46.

3.° Ne' giorni calmi e normali il vento gira dal nord , d'onde soffia il mattino, al nord-owest, e dopo mezzodì al sud-owest: allora il vento normale di nord si compone con la brezza di mare. Sovente la rotazione completa à luogo dal nord per l'owest al sud e all'est contro ciò che si osserva altrove.

4.° Al sorgere d' una procella il barometro prova un abbassamento rapido e di breve durata; e si abbassa pure il termometro. Il raffreddamento dunque è la vera cagione dell' abbassarsi per breve tempo il barometro, e forse anche delle oscillazioni che la colonna barometrica dimostra nei dì burrascosi.

297. **Neve.** Dove l'aria à temperatura più bassa del punto di congelazione la precipitazione de'vapori non dà gocciole di acqua, ma *fiocchi di neve*, che sono un aggruppamento di cristalli di acqua ghiacciata. Perciò sovente dalla stessa nuvola *neviga* sù i monti, *piove* nelle pianure.

Intorno a ciò si osservi essere indispensabile,in quanto alla neve per la sua lenta caduta, che fin sul suolo regni la temperatura del gelo; non così per la grandine, la quale in forza del suo peso traversa rapidamente gli strati di aria calda. Ma se l'aria è molti gradi sotto 0°, la neve è rara , perchè in tal caso l' aria contiene

minore quantità di vapore; una volta sola Kaemtz à veduto piovere copiosa neve a granelli tenuissimi, essendo l'aria a—18°,2.

Talvolta la pioggia si converte in ghiaccio cadendo sul suolo freddo: si à allora il *gelicidio*.

Figura della neve. Se raccolgonsi i fiocchi di neve sopra uno specchio nero, e freddo d'alquanti gradi sotto 0°, può vedersene la forma cristallina. Essa è varia, e accenna sempre una tendenza all'esaedro; l'acqua infatti cristallizza nel sistema del prisma esagonale. Il primo lavoro e più completo su tale argomento è dello Scoresby già capitano d'un legno baleniere, ed esposto nella sua opera *sulla vita delle regioni polari:* egli osservò 96 forme che ridusse a 5 principali specie: altre molte ne vide il Kaemtz: le più speciose sono espresse dalla fig. 323.



Fig. 323.

I cristalli sono netti, e la superficie ne è liscia quando il tempo è calmo e senza nebbia: se è ventoso, i cristalli sono infranti e irregolari; se v'è nebbia àn superficie ruvida.

298. **Nevi perpetue.** Sulle più alte montagne la neve è *perenne* in ogni stagione e a qualunque latitudine anche tra i tropici. Cotesta è la *regione delle nevi perpetue:* non vi piove che neve anche di està, e vi si ammassa, e vi rimane perchè neanco il sole estivo è potente a solverla.

À essa un *limite inferiore*, e talvolta pure un *limite superiore*. Di quest' ultimo è cagione il non poter la neve dimorare stabilmente sul vertice culminante, o sulle scoscese vette d'un alto monte; e ne vien giù rotolando in valanghe, o è dissipata in polvere dai venti. In alcuni luoghi di està la secchezza estrema dell'aria rara promuove a tal segno la evaporazione della neve, che tutta svanisce, come al vulcano d'Aconcagua 150 metri più alto del Chimborazo.

Il limite poi inferiore è la minima altezza, a cui persiste la neve in tutto l' anno. Varia con la latitudine, e in generale si abbassa dall'equatore al polo, come rilevasi dal quadro seguente:

Regioni	*latitudine*	*altezza*
America meridionale	0°	2500 tese
Chili	16 S.	2718
Messico	19 N.	2350
Himalaya { pendio meridionale.	31	2030
Himalaya { pendio boreale .		2087
Ararat	39 1/2	2217
Pirenei	42 3/4	1400
Caucaso	43	1710
Alpi	45 1/2	1350
Norvegia	{ 60	850
	{ 71 1/2	367

Sonvi parecchie anomalie, poichè l'altezza delle nevi è funzione composta così della temperatura, come dello stato igrometrico, e della forma delle montagne. Più partitamente secondo l'analisi di Humboldt essa dipende da parecchie circostanze, tra cui le principali sono: la differenza tra le temperature estreme, la direzione de'venti dominanti marini o terrestri, la umidità o secchezza abituale dell' atmosfera, la quantità di neve caduta o accumulata, l'altezza assoluta e relativa della montagna, sua figura, pendio, e posizione; e finalmente distanza dal mare.

299. **Ghiacciaie.** Guardando da lungi un'alta catena di montagne si veggono le nevi perenni limitate in giù da una linea quasi orizzontale, da cui partono delle altre trasversali diramantisi nelle sottoposte valli. Queste ultime sono le *ghiacciaie*, che si generano nel seguente modo. La neve se è a grossi fiocchi à volume dieci volte maggiore dell' acqua e venti volte se in minute laminette, come d' ordinario cade sulle vette più elevate de' monti. Ma colà non rimane, e si ammassa invece negli alti-piani, che diconsi *circhi*, dove acquista densità solo 3 volte minore dell' acqua e costituisce un *campo di neve*. Or ne'giorni estivi la neve parzialmente vi si fonde, e le notti gelando si converte come in un fiume di ghiaccio poroso, il quale lentamente discende tra pel proprio peso e per la pressione esercitata dai nuovi strati che sopravvengono dall'alto. Una ghiacciaia dunque di sopra aumenta, mentre si strugge nel basso e al contatto del suolo dando origine a un ruscello.

Ma si protrae ben al di sotto del limite delle nevi perpetue: infatti il De Buch nel suo viaggio in Norvegia e Lapponia cita il Runnen a 67° di lat. da cui scende una ghiacciaia sino al livello del mare.

La condizione indispensabile dell'avvicendarsi la fusione e l'agghiacciamento dà ragione della frequenza delle ghiacciaie nelle zone temperate, e della mancanza assoluta tra i tropici.

Le dimensioni delle ghiacciaie sono variabili e dipendono da condizioni locali: quella des Bois presso Chamouni à circa 30 metri di spessezza, e lunghezza di 5 leghe: l'altra di Grindelwald, che si stima il gran serbatoio delle acque del Rodano e del Reno, corre ben 15 leghe senza interruzione. Nel basso il ghiaccio è sempre più compatto, perchè più copiosa ne fu la fusione, e l'agghiacciamento più generale.

La superficie delle ghiacciaie è stranamento irregolare con massi sporgenti e rientranti, e copiose e larghe fenditure cagionate dalle parziali fusioni, da dilatazioni e restringimenti, e dal moto in giù del ghiaccio, cho non può essere uguale per tutto. Di quì il maraviglioso azzurro carico, di che si tinge da lontano una ghiacciaia a somiglianza d' un mare puro e profondo, o del cielo sereno guardato dall'alto di un monte.

Una ghiacciaia progredendo corrode le rocce, che formano il suo letto, e ne trasporta i frammenti, e li dispone ai fianchi e al suo orlo inferiore, talvolta a più ordini paralleli fra loro. Queste specie di parapetti, che sovente ànno l'altezza di più decine di metri diconsi *morene* della ghiacciaia.

300. Sorgenti. In ogni paese l' acqua vien fuori da crepacci del suolo, e costituisce le *sorgenti*. Ne'terreni cristallini sono numerose e povere d'acqua, perchè la compattezza di quelli presenta anguste fenditure: per l'opposto ne'terreni di sedimento teneri e disgregati sono poche e ricche così che sovente ne sorge d'un colpo un fiume reale.

Temperatura e composizione. Le sorgenti distinguonsi in *fredde* e *termali*: le prime ànno temperatura quasi uguale alla media del luogo, per che ne'paesi gelati presso alle sorgenti l'aria è men rigida e prospera sempre verde la vegetazione; le seconde sono calde fin oltre i 100°. Le sorgenti di Chaudesaigues ànno temperatura di 82°, di 97° quelle di Trincheras presso Puerto-Cabello, e quella del grande Geyser giunge a 124° secondo Lottin.

L'acqua di sorgente dicesi *potabile* allorchè contiene delle trac-

ce di sostanze sciolte, ed è giovevole alla vita, *minerale* se queste sono considerevoli. La più parte delle sorgenti termali sono anche minerali, perchè l'acqua a temperatura elevata è solvente più attivo; ma ve n'à pure delle fredde. A vicenda alcune fra le termali sono purissime, come qnella di Cannea nell'isola di Ceylan, la cui acqua secondo Iohn Davy sebbene a 42° è limpida, senza odore, nè sapore, e non forma deposito di sorta.

Le sorgenti minerali sono assai diverse per la loro *composizione*; perciò distinguonsi in *saline*, *gassose* e *acide*, *alcaline*, *ferruginose*, *idrosolforose* e simili.

I *campi flegrei* abbondano di acque *termo-minerali*; la loro più elevata temperatura è di circa 70°, e vien segnata dall'acqua dei *Pisciarelli* presso il lago di Agnano, e da quelle di *Gurgitello* e della *Rita* nell'isola d'Ischia.

Origine delle sorgenti. Tre ipotesi furon proposte per dar ragione delle sorgenti, ciascuna sostenuta e contrastata alla sua volta; ma forse in tutte si trova nna qualche verità. Aristotile volle attribuirle ai vapori attirati e assorbiti dalle montagne. Lucrezio e Cartesio le spiegavano mediante l'acqua del mare; ma pe'l primo essa infiltrasi nel fondo e così purificata ne spiccia fuori; il secondo più sennatamente opinò che nelle caverne sotterranee e calde l'acqua del mare si trasformi in vapore, deponendo le materie straniere, poi per una specie di distillazioue si cangi novellamente in liquido sotto le volte di quelle più fredde, e sgorghi così all'esterno. Finalmente Vitrnvio le derivò dalle piogge, le cui acque s'internano ne'diversi terreni fino ad incontrare uno strato impermeabile: ne seguono allora il pendio, e vengono fuori dove questo s' interseca colla snperficie esterna.

L'ultima ipotesi è ricevuta più generalmente, perchè meglio poggiata su i fatti. Per fermo è manifesta la relazione tra le piogge e le sorgenti, chè queste sono più ricche dove più rilevante è la quantità media di pioggia, val quanto dire nelle pianure circondate da alte montagne; ed in uno stesso luogo la copia delle acque oscilla nell'istesso senso che le variazioni delle piogge, come rilevasi dalle lunghe osservazioni di Fleuriau de Bellevue. Intorno a ciò è da notare che sono atte ad alimentare le sorgenti le solo piogge di autunno, d'inverno e del cominciar di primavera: le altre non giungono a grande profondità e servono alla vegetazione o si trasformano di presente in vapori.

Purtuttavolta v'à delle sorgenti, dove mai non piove, come nell'isola S. Tommaso, secondo notò prima di tutti il Mercatore; e delle altre in luoghi erti ed isolati, come quelle di S. Elena. È forza dunque ritenere che le acque vengano assai da lungi per meati sotterranei da montagne molto più elevate; se pure non voglia sostenersi che in assenza di piogge i monti torreggianti, specialmente se ricchi di vegetazione rigogliosa, sieno atti a attrarre o assorbire i vapori e trasformarli in liquido fluente. Il vedere però impoverite le sorgenti in conseguenza della distruzione di annosi boschi non è argomento valevole a confermare quest'ultima ipotesi; potendo essi influire altrimenti; cioè impedendo meccanicamente lo scorrere delle acque piovane ne favoriscono l'assorbimento. È pure ingegnosa la spiegazione di Bellani, il quale suppone un' ampia caverna nel monte centrale dell'isola S. Tommaso, che tutta dall'imo al fondo la traversi: l'aria calda circolando in essa e raffreddandosi vi farebbe precipitare in acqua il vapore.

301. **Sorgenti zampillanti e intermittenti.** V'à delle sorgenti dalle quali l'acqua vien fuori con empito, e sorpassa il livello del suolo: le dicono *zampillanti*. Tali sono quelle di Clamecy, del Loiret, e della Touvre. Sorgono esse pure nel bel mezzo del mare; infra le quali sono notevoli quella descritta da Spallanzani, che forma un mamellone di presso a 25 metri di diametro nel golfo di Spezia, e le altre presso Cuba osservate da Humboldt.

La spiegazione ne è evidente. Nei terreni di sedimento gli strati di diversa natura si alternano. Se dunque l' acqua di pioggia infiltrantesi di sopra un monte invade uno strato permeabile, che giace tra due altri impermeabili, corre sull' inferiore di questi ed è compressa tra entrambi da tutto il peso dell'acqua sovrastante. Poniamo ora che lo strato superiore presenti una fenditura; per essa l'acqua zampillerà ad un'altezza corrispondente alla pressione della colonna d'acqua.

Un secondo fenomeno specioso, che accompagna talora i getti d'acqua, è la *intermittenza*, del quale ò dato ragione con principii d'idrostatica nel libro IV. In alcune sorgenti il periodo è regolare: un'ora nella fontana di Como ricordata da Plinio: sei ore in quella del Puits-Gros presso Chambery: fino a 20 anni in quella di Boulaigue presso Fressinet. La sorgente intermittente di Solopaca da me descritta dà acqua solamente di està, e trae origine probabilmente dalla fusione delle nevi.

V'à però delle sorgenti zampillanti insieme e intermittenti, di cui è carattere speciale una grande anomalia così nel periodo, che nella forza ascendente. Le più rinomate infra tutte sono quelle di Islanda dette *Huer* o *Geysers:* nella valle dl Reikum in una circonferenza di due miglia se ne contano più di cento. Il grande Geyser lancia spesso il suo getto a 50 metri di altezza con diametro di 3 in 4 metri. Ma cotesti fenomeni sono dovuti alla presenza di aeriformi aventi grande tensione perchè compressi e caldi, i quali strepitosamente si svolgono.

302. **Pozzi forati.** Vien definito pienamente un *pozzo forato*, e se ne assegna pure la cagione con dire, esser non altro che una *sorgente zampillante artefatta*. Si chiamano *artesiani* perchè in Francia la prima provincia ad averli fu quella di Artois; ma furono essi conosciuti dalla più remota antichità, e nell'Europa vennero introdotti primamente in Italia, essendo volgare e antico l'adagio nel Modenese: *salassate la terra e ne avrete acqua.*

La felice riuscita del traforo d'un pozzo dipende dalla soluzione d'un doppio problema, val quanto dire dalla *scelta del sito* e dal *metodo di lavoro.*

Il primo abbraccia due parti, cioè la *natura del suolo* e la *configurazione del terreno.* La condizione degli strati alternanti nón verificandosi che ne'terreni di sedimento, vien tolta ogni speranza di acqua zampillante ne' paesi, dove le rocce cristalline si trovano abbastanza sviluppate a fior di terra. Inoltre la configurazione del terreno deve essere quella di un bacino, perchè le acque sottoposte sieno in comunicazione con le altre delle montagne, e ne sostengano la pressione.

Ambe le condizioni ben si conosceva avverarsi nel suolo di Napoli: tra perchè il terreno vulcanico vi è soprapposto a quelli di sedimento, e per la figura di conca proveniente dalla corona di montagne d'una stessa formazione geologica, che circondano la capitale. Il buon successo de'due pozzi forati, l'uno nel giardino della Reggia, l' altro al largo Vittoria, dan certezza che un tal mezzo sia per somministrare alla città acqua abbondevole secondo i progetti del dotto architetto L. Cangiano.

Il secondo problema di men facile soluzione riguarda il metodo del traforo. Dopo eseguita una cavità sia cilindrica sia parallelepipeda larga metro 1 1/2 e profonda 4 a 5, si comincia a perforare mediante un' asta di ferro piantata verticalmente, alla quale man

mano so' n vanno congiungendo a vite delle altre uguali in lunga serie. Alla estremità inferiore si adattano dei *succhielli*, se fa d'uopo attraversare terra vegetale, o altre poco tenaci, come argille plastiche; per rompere rocce compatte e dure si usano *trapani* e *scalpelli*; per estrarre i detriti s' impiegano *cucchiaie* e *cilindri a valvole;* e così altri speciali ordigni per attraversare melme e strati di ciottoli, e per allargare i fori, e per asportare i rottami degli strumenti. Affinchè poi non avvengano frane de'terreni incoerenti, che colmino il foro, se ne foderano le pareti per mezzo di tubi cilindrici di ferro lunghi sino a 8 metri, e connessi insieme.

Il Fauvelle à renduto più agevole il traforo inventando una maniera di trivella, che fora insieme e manda fuori i detriti senza bisogno di estrarla a quando a quando, come era indispensabile per l'ordigno sin oggi usato , con evidente pericolo di frane , che obbligassero a ricominciar da capo il cavamento. Ma sono svariate e sempre gravi le difficoltà , che s' incontrano nelle varie parti del lavoro, cui solo il progresso della meccanica e un lungo esercizio àn potuto in parte superare.

303. **Fiumi.** Meglio che 600 *fiumi* solcano la superficie del globo, e tutti alimentati da sorgenti. Ognuno à il suo *bacino* o *regione idrografica*, e riceve come *confluenti* tutt' i corsi d' acqua minori che in essa fluiscono.

La loro *potenza* è sommamente varia, e dipende da quattro elementi: *lunghezza*, *larghezza*, *profondità* e *velocità*. Il fiume di più lungo corso è quello delle Amazzoni, la cui lunghezza, 980 leghe, pareggia quasi l'intero diametro della terra, ed è navigabile per 750 leghe: alla imboccatura à larghezza di 11 leghe. È immensa la copia delle acque, che i fiumi versano in mare. Buffon tentò di misurarla e, supponendo la profondità media nell'oceano di 460 metri, giudicò che quelli ne colmerebbero il bacino in 312 anni.

La velocità è funzione del pendio e della spinta. I grandi fiumi dell'America ànno leggerissima inclinazione: ad esempio per ogni lega l'Orenoco si abbassa 22 centimetri, e quello delle Amazzoni poco più di 3. Per l'opposto la Senna scende 64 centimetri per lega, il Reno circa 3 metri, e'l Rodano 5.

I fiumi presentano delle *piene accidentali* e *periodiche:* entrambe provengono dalle piogge; e quindi le prime àn luogo ne'nostri climi, le seconde sono proprie de'paesi intertropicali nella stagione piovosa. Son troppo celebri le inondazioni fecondatrici del Nilo , le

cui acque sono bassissime in aprile e maggio, crescono in giugno, e pervengono al massimo sulla fine di settembre: la differenza di livello è di 10 metri nell'alto Egitto, 8 al Cairo, 1 1/3 nella parte settentrionale del *delta*. Quasi nella medesima stagione crescono i fiumi d'America: ascendendo il livello dell'Orenoco 30 metri inonda meglio che 400 leghe quadrate, e si veggono di quel tempo frequenti canoe correre le foreste: e guizzare pesci per quei cespugli, che tra qualche mese sosterranno nidi di uccelli.

Se il letto d'un fiume presenta soluzione di continuità con grande differenza di livello, l'acqua si lascia d'un colpo, e forma sovente un arco mobile e trasparente, sotto cui lice passare senza pure bagnarsi. Il fenomeno dicesi *cascata* o *salto;* e *cateratta* se il fondo è a scaglioni così da presentare una serie di cadute. Il salto del Niagara e per l'altezza di oltre 46 metri e pel volume d'acqua immenso, quanta ne corre in uno dei maggiori fiumi di America, il S. Lorenzo, è il più sorprendente; le cateratte poi di Maypures sull'Orenoco offrono il più gradevole aspetto.

La diversa velocità d'un fiume e d'un suo confluente fa, che le loro acque corrano lungo tratto lo stesso letto dopo l'incontro senza mescolarsi: ne è indizio il lor diverso colore, come sovente osservasi pel Rodano riguardo all'Arvo e alla Saone. A più forte ragione i fiumi versando le loro acque in mare si avanzano a grande distanza dalla foce: quello delle Amazzoni si spinge nell'Atlantico con tanta forza, che le sue acque vi si distinguono durante le piene sino a 120 leghe dall'imboccatura.

301. **Laghi.** I bacini terrestri in tutto o in parte chiusi, e colmi d'acqua si denominano *laghi*. I più di numero e i più grandi son traversati da un fiume: ad esempio nel Canadà il S. Lorenzo forma successivamente il lago Superiore, l'Huron, l'Erie, e l'Ontario. Ma ve ne à di quelli che danno origine a un fiume senza riceverne, come il Seligero produce il Volga. Per dare poi ragione dei laghi, in cui entra un fiume senza uscirne, come il lago Asfaltico e'l Caspio, e degli altri in cui non entra fiume nè ne esce, come parecchi tra i crateri de' vulcani spenti, convien dire che l'acqua di pioggia o di corrente ne sfugge per meati sotterranei e sollevasi in vapore con giusto compenso.

V'à de' laghi ad *acqua dolce*, che suole essere pura e limpida, perchè le materie straniere trasportate dalle correnti si depongono al fondo, e de' laghi ad *acqua salsa*, la quale d'ordinario à la stessa

composizione che la marina. Ma parecchi contengono altresì in copia degli altri sali somministrati probabilmente da sorgenti minerali; così in quelli della *valle de'laghi* in Egitto v'è carbonato e solfato di soda.

La temperatura de'fiumi segue dappresso quella dell'aria ; non è così de'laghi, i quali se alla superficie oscillano coll'atmosfera, a considerevole profondità restano tra 4° e 5 in ogni stagione; e ciò tra per la maggiore densità dell'acqua a quella temperatura, e per la sua scarsa virtù conduttrice. Saussure il dimostrò pria d' ogni altro ne'laghi di Svizzera.

Dicesi *secca* o *marea accidentale* un sollevamento o un abbassamento in due porzioni contigue d' un lago senza agitazione sensibile nell'aria o altra cagione apparente, che sembri produrli. Tra le diverse opinioni è da preferire quella di Vaucher, il quale dopo diligenti osservazioni su i laghi di Svizzera attribuisce le secche alla ineguale pressione delle colonne atmosferiche; e dalla medesima cagione, anzi che dalle correnti, vuole prodotto il fenomeno frequente nei laghi e ne'mari ristretti, che di due porzioni contigue di superficie l'una sia agitata, l'altra calma e con grande regolarità riflettente.

305. **Mari.** Le parti più basse della superficie terrestre , cioè quasi i tre quarti, vengono coverte da acque salse, e costituiscono i *mari*; i quali se circondano per grande estensione i continenti si denominano *oceani*, e *mediterranei* se in essi s'internano.

Colore e aspetto de'mari. L'acqua marina, come quella dei laghi e dei fiumi, in piccolo è senza colore, in grande è colorata. Il colore proprio del mare per luce diffusa è l'azzurro, come apparisce lungi della costa; e divien più carico pel riflesso dell' azzurro del cielo, o per aumento di riflessione se i raggi cadono assai obbliqui: così avviene nella *grotta azzurra* dell'isola di Capri, in cui non à ingresso la luce che per angusto e basso forame, e attraverso l'acqua stessa inferiormente a una roccia che non tocca il fondo. Ma dove il mare è poco profondo, il colore della ghiaia, e delle erbe, e de'zoofiti modifica la tinta delle acque; e queste mostransi verdi presso al lido , grige se la sabbia è biancastra , oscure se è nera, e d' un verde carico se è gialla. Di qui probabilmente son nate le denominazioni di mare *nero, giallo* e *rosso* ; sebbene Ehrenberg attribuisca quest'ultimo colore ad una specie di *oscillaria*, che è rossa e di cui quel mare è gremito. Alla imboccatura poi

de'fiumi l'acqua è bruna per l'intorbidamento cagionato dalla corrente, e tale pur sembra per difetto di luce quando il cielo è nuvolo prendendo la stessa apparenza che se fosse agitata.

I mari polari contengono due acque distinte, le *azzurre* e le *verdi*. Queste ultime sono frequenti tra il 74° e l'80° di lat. nord: formano talvolta lunghe strisce di tinta diversa, e in esse trovansi a preferenza le balene. Scoresby ne fa dipendere il colore da animaletti semitrasparenti del genere *medusa:* la loro tinta gialla combinata all'azzurro delle acque produce il verde.

Somigliantemente si dà ragione del colore speciale delle acque di parecchi laghi e fiumi sebbene purissime. Così in Isvizzera v'à delle acque grige e delle verdi, e 'l Rodano all'uscire del lago di Ginevra è di colore indaco, e le *acque nere* dell' America equatoriale sembrano tali all'ombra, mentre all'aperto per leggiero soffio di vento prendono una bella tinta verde di prato.

Fosforescenza. Lo spettacolo della *fosforescenza* de' mari, cioè lo splendere di notte con luce ora verde, ora azzurra, non si avvera esclusivamente nelle regioni equatoriali, come altri avea opinato; ma se dimostra colà tutta la sua magnificenza, ne godiamo anche noi quasi ogni sera nella stagione estiva, e non è raro presso ai ghiacci polari. Il mare vuol essere tranquillo, e la superficie leggermente increspata da onde leggiere. Quoy e Gaymard àn trovato nelle acque fosforescenti miriadi d'insetti luminosi analoghi alle lucciole e alle lampiridi. Becquerel ripete la fosforescenza delle acque della Brenta da materia organica in un peculiare stato di decomposizione.

Profondità de' mari. Assai varia è la profondità degli oceani e de'mediterranei; Buffon dalla quantità di acque che vi versano i fiumi e da quella che sollevasi in vapore avea calcolato che la profondità media fosse 475 metri. Yung crede che nell'Atlantico sia di circa una lega, e nel Pacifico un terzo di più; ma finora lo scandaglio non à potuto scendere più che due terzi di lega. I mari polari sono i più profondi: Scoresby a 76 lat. nord e 4 long. ow. à fatto calare lo scandaglio quasi 260 metri senza toccare il fondo.

In fondo all'Oceano la pressione è enorme, di 150 a 200 atmosfere: per farsene giusta idea, basterà riflettere che una superficie d' un decimetro quadrato alla profondità di 1000 metri sarebbe gravata da un peso di 10000 chilogrammi. Colà non perviene raggio di luce: chè quella del Sole rendesi già insensibile alla profon-

dità di 300 metri, e nelle condizioni più favorevoli quella di luna non oltrepassa i 14^m. In quei profondi abissi non vive essere organizzato. Le conchiglie s' incontrano quasi tutte al disopra dei 20 metri: alcune poche, come le *terebratule*, rarissime al presente, e numerosissime un tempo, poichè rinvengonsi copiose allo stato fossile, vivono anche oggidì alla profondità di 180 m. Il corallo mai non discende oltre i 200 metri. Ed una sola pianta si tinge di vivi colori a 305 m. sotto il livello dell'Oceano, e costituisce nella scala verticale il più basso limite dell' esistenza di esseri organizzati in fondo ai mari.

Composizione dell'acqua marina. Il peso specifico medio dell'acqua del mare determinato da Gay-Lussac è 1,0285, la quale portata a secchezza al calor rosso oscuro dà di sostanze straniere un residuo uguale a 0,00365 del suo peso. Queste sono cloruri di sodio e di magnesio in maggiore copia; e dippiù tenui frazioni di solfati di soda magnesia e calce, di carbonati di magnesia e calce, di sale ammoniaco, qualche ioduro, e probabilmente del bitume. Marcet col metodo de' pesi specifici è venuto alle conclusioni seguenti; che

1.° l'oceano meridionale contiene più sali del settentrionale nella ragione di 1,02919: 1,02757.

2.° il peso specifico dell'acqua all'equatore è 1,02777, che sarebbe medio tra quelli delle acque de'due emisferi.

3.° è la stessa la salsuggine alle diverse profondità, e sotto varii meridiani.

4.° il mare è men salso presso ai continenti, e al ghiaccio.

5.° i piccoli mari interni sono men salsi dell'oceano: l'opposto però accade pel mediterraneo.

Le sorgenti minerali in seno al mare stesso, e i corsi d' acqua, che vi recano perennemente tutte le materie saline de'continenti, sono due potenti cagioni, e la seconda più che la prima, della salsuggine delle acque marine. Ma presso alle foci di grandi fiumi dolci la copia de'sali deve essere necessariamente minore, tranne se trattisi d' un bacino quasi chiuso e di temperatura abbastanza elevata per cagionarvi evaporazione abbondante.

306. **Moto dei mari.** È il fenomeno più imponente, che presentino le acque marine. Ve n' à di tre maniere.

1. *Alta e bassa marea.* Le attrazioni lunare e solare sull' acqua del mare la fan sollevare e abbassare due volte nel corso del gior-

no, cioè ogni sei ore. La prima è assai più valida della seconda per essere la luna tanto più vicina alla terra che non le è il sole, non ostante la sua massa incomparabilmente minore. L'effetto però deve essere massimo allorchè le maree lunare e solare si sommano: val quanto dire quando le sigizie àn luogo al perigeo della luna, ed anche più allorchè avvengono nei nodi, come è nelle ecclissi di sole e di luna; o quando accadono le sigizie essendo così la luna come il sole al loro perigeo; o finalmente allorchè le sigizie succedono negli equinozii. L'ora dell'alta marea ne' giorni delle sigizie vien designata col nome di *stabilimento del porto*.

Se la sponda è a picco, si osserva solo un cangiamento di livello; se inclinasi con dolce pendio, il mare alternamente ritirasi e poi ritorna; e al suo allontanarsi calpesti a piè asciutto il suolo dei flutti, dove restano a secco i molluschi, e si adagiano sur un fianco le navi. Non so dire la maraviglia da che fui compreso nell'esserne spettatore a Ostenda sulle coste di Fiandra.

Nell'oceano, le cui acque sono libere al moto, e possono di presente trasferirsi dove le chiama la gravitazione celeste, il *flusso* e *riflusso* si avvera con tutta magnificenza; mentre è appena sensibile ne' mari interni. E valgono altresì a modificarne l'ora e la intensità la posizione degli stretti, il contorno delle coste, la estensione delle isole e la loro figura, l'ingolfamento dei seni.

2. *Correnti*. Fluiscono pure le acque in mezzo ai mari come fiume tra le sponde, senza che la massa liquida circostante partecipi al suo moto. Molteplice è la cagione delle correnti secondo Humboldt, cioè la spinta dei flussi atmosferici, una differenza di calore e di salsuggine, la fusione de'ghiacci polari, la ineguale evaporazione alle diverse latitudini, le azioni attrattive esteriori, e forse cento altre forze che noi ignoriamo.

Sonvi delle correnti *costanti* e delle *periodiche*. Tra le prime basterà ricordare quella, che traversa l'Atlantico dalla costa occidentale dell'Africa alla orientale della Columbia: colà piega verso il nord, e s'interna nel golfo del Messico, dove le acque si accumulano così, che il loro livello supera per circa tre metri quello dell'Atlantico: quindi ne sfuggono per lo stretto della Florida generandovi la tanto celebrata corrente del *Gulf-Stream*. Questa spingendosi al nord incontra le acque polari, le quali scendono a supplire il difetto cagionato ne' mari equatoriali da copiosa evaporazione. Le due correnti ànno opposta velocità, l'ascendente di pres-

so a 10 miglia l'ora, e di due la discendente: ma poi si rimescolano e piegano di concerto lungo la costa europea sino alla sponda d'Africa, per traversare l'Atlantico come dianzi.

Ne' mari indiani regnano correnti *periodiche* opposte secondo le stagioni, e variate dalla forma delle isole.

In certi siti il mare fluisce oppostamente a diversa altezza: così l'Atlantico s'indentra nel mediterraneo con velocità di presso a 12 miglia il giorno, e le acque del mediterraneo più salse e ancor più dense per la evaporazione non abbastanza compensata generano una contro-corrente inferiore o *sottomarina*. Non è così del mar nero: la evaporazione non giunge a sottrarre la immensa copia di acque che gli tributano i 5 grandi fiumi, il Danubio, il Niester, il Bog, il Don, e'l Boristene; e però queste fluiscono perenni ad alimentare il mediterraneo per lo stretto de' Dardanelli. Ma il più delle volte le due correnti opposte vanno l'una accanto all'altra, e sovente pure s'incontrano sotto diversi angoli; e in questi due ultimi casi generano vortici fatali alle navi che v'incolgono.

Lo studio delle correnti à renduto immensi servigi alla navigazione; ad esempio non devesi ad altro l'essersi ridotta a pochi giorni la traversata dell'Atlantico specialmente e anche del mare indiano, mentre de'lunghi mesi si richiedevano per l'innanzi. E per converso dalla scarsa conoscenza delle correnti è stato cagionato un numero considerevole di naufragi: ad esempio Schomburgk conta non meno di 67 legni perduti per l'effetto delle correnti nell'intervallo di 20 giorni sulle sole Rocche di Anegada.

3. *Agitazioni accidentali*. Il soffio de'venti più o meno impetuoso e senza legge turba l'equilibrio dei mari;ed or gl'increspa leggermente, or solleva alle nuvole montagne di flutti fragorosi e spumeggianti. Ma l'agitazione è solo a fior d'acqua: che mentre nell'alto imperversa fiera burrasca, il fondo a poco più che 30 metri nulla affatto ne risente, come nella calma più perfetta.

307. **Temperatura dei mari.** Il calore nella superficie del mare dipende senza dubbio da quello dell'aria, ma non può seguirne con precisione i cangiamenti. Perciò il massimo e il minimo sono sempre in ritardo, e l'ampiezza delle oscillazioni è minore nell'acqua che nell'aria.

Le osservazioni di Perron lo àn condotto alle seguenti illazioni: 1.° l'oceano è generalmente più freddo a mezzodì che l'atmosfera all'ombra; 2.° a mezzanotte è più caldo; 3.° il mattino e la sera

le due temperature si uguagliano; 4.° prendendo la media di 4 osservazioni alle 6 del mattino e di sera, a mezzodì e a mezzanotte, si à sempre una temperatura più elevata per le acque del mare lungi dalle terre al paragone dell'aria sovrastante.

Humboldt argomentò che lungi dalle coste la superficie del mare mai non raggiunga i 36°. L'acqua poi sur un banco di sabbia è più fredda in ragione della estensione del banco, e della vicinanza alla superficie: lo stesso accade presso alle terre. Di che è cagione secondo A. Davy la evaporazione e 'l raggiamento.

Dovunque è disceso lo scandaglio si è abbassato pure un termometro per conoscere la temperatura alle diverse profondità. D'Urville da 421 osservazioni à dedotto le conseguenze seguenti:

1. Nei mari liberi da 1000 metri in giù la temperatura è per tutto presso a poco di 4°, 4. Nei mari equatoriali sino a 160 metri il raffreddamento è più rapido di quanto potrebbe credersi.

2. La temperatura del mediterraneo sino a 250 metri è in relazione con quella della superficie, sotto il quale limite serbasi quasi costante a 13°.

Ben si comprende che le correnti debbano produrre eccezioni a cotesta distribuzione del calore nei mari. Basterà notare che le acque presso il banco di Terra Nuova ànno temperatura di 9° a 10, mentre la corrente del Gulf-stream, che passa loro dappresso, segna 22°, cioè quasi la temperatura delle acque equatoriali.

308. **Ghiacci polari**. Gelano i laghi e i fiumi nelle zone temperate: qual maraviglia che si agghiaccino anche i mari nelle regioni polari immerse in lunga notte di sei mesi rischiarata appena da fugaci e fredde fiamme delle aurore polari?

Il ghiaccio del polo à doppia origine, e duplice natura, secondo che proviene dall' *acqua dolce* o dalla *salsa*. Il primo nell' acqua à aspetto nerastro, fuor d'acqua è trasparente e d'un bel verde. Scoresby ne à fatto spesso delle lenti ustorie per accendere ai raggi solari delle legna o le pipe della ciurma: il suo peso specifico è 0,937. Il secondo è bianco poroso e opaco: il suo peso specifico è 0,872: è assai dunque più leggiero dell'altro.

Agghiacciasi il mare presso alle terre, e compone i *campi di ghiaccio*, che emergono sull'acqua 1 a 2 metri, e vi s' immergono 6 o 8; estendonsi fino a 30 leghe in lunghezza e 20 in larghezza. Ma si gela pure il mare lungi dalle terre, e Scoresby à assistito sovente al fenomeno anche a 20 leghe lungi dallo Spitzberg. Il ma-

re agitato ad un tratto si rappacia e si arresta come per olio che vi si versasse: un istante dopo l'increspamento delle onde rompe in frammenti quello specchio incantato, che urtandosi si rotondano, si lisciano, ma presto si saldano insieme per più non disgiungersi. Se il freddo è intenso, la spessezza del ghiaccio può giungere in 24 ore a un decimetro. Il ghiaccio secondo la grossezza regge pesi diversi: così

essendo di 0^{m}, 04 sostiene l'uomo inerme,
arrivando a 0^{m}, 1 regge bene la fanteria,
tra 0^{m}, 10 e 0^{m}, 24 sorregge cannoni da otto,
tra 0^{m}, 16 e 0^{m}, 18 sostiene l'artiglieria da campagna,
oltre 0^{m}, 27 è solido per sostenere qualunque carriaggio.

Le *montagne di ghiaccio* sono de' massi immensi e compatti di ghiaccio proveniente da acqua dolce, che talora emergono sino a 200 metri dall'acqua. Traggono origine dalle ghiacciaie, che progrediscono fino al mare, e si avanzano in esso, d'onde poi si staccano quali enormi frammenti. Secondo Scoresby potrebbero anch'esse formarsi in mezzo ai mari.

I ghiacci polari ànno varia estensione ai due poli. Nell'emisfero aùstrale cominciano alla lat. di 60°, e solo in un sito restringonsi a quella di 71°. Nel boreale il limite dei ghiacci forma una linea sinuosa e variabile secondo gli anni. Ad esempio al S. O dello Spitzberg il ghiaccio suol presentare una baia: quando il ghiaccio nel fondo di questa impedisce d'inoltrarsi oltre il 75°, suol dirsi che la stagione è *chiusa*; chiamasi *aperta* allorchè si può traversare un canale largo 20 a 30 leghe sino al grado 80mo, pel quale passano i balenieri per giungere alla stazione di pesca.

Ma nè i campi nè le montagne di ghiaccio sono mai in riposo: essi in vece si avanzano con moto progressivo dai poli verso l'equatore trasportati dalle correnti polari. Se due campi di ghiaccio vengano ad incontrarsi, l'effetto dell'urto è superiore a tutto ciò che una viva imaginazione può inventare. Si tratta di masse di 10 a 12 milioni di tonnellate arrestate d'un colpo: il fragore è spaventevole: un de'campi rota con velocità di più miglia l'ora, l'altro è ridotto in frammenti. Si noti la somma fragilità di questi massi specialmente quando un lieve innalzamento di temperatura fonde i piccoli cristalli, che tengono come saldati i maggiori: sovente un colpo incauto di martello ordinato ad assicurare ad uno d'essi il

canape d'un paliscalmo è bastato per ridurlo con orrendo fragore in minuzzoli, che àn seppelliti in un attimo barca e marinai.

309. **Duplice azione delle acque.** Le acque di pioggia e le sorgenti, quelle dei fiumi e del mare esercitano una doppia azione e opposta sulla terra, l'una *distruggitrice*, l'altra *creatrice*, e 'l duplice effetto si opera per virtù chimica e meccanica.

1.° Primamente l'azione *distruggitrice* delle piogge e delle acque fluenti si osserva sulle rocce più compatte di formazione ignea, come i graniti, i basalti, le trachiti, che sono soggette a lenta e successiva degradazione; poichè tutte contengono il feldspato, la cui potassa viene sciolta dalle acque, restando le argille, di che si formano estesi depositi. Anche più potente è questa azione delle acque ne' terreni di sedimento, dove intere miniere di salgemma e di altre sostanze solubili svaniscono, specialmente se all'acqua si accoppia altro elemento straniero che ne accresca la forza solvente. Aggiungasi a tutto questo l'azione meccanica erosiva; e riflettendo all'aumento di densità e quindi di forza motrice dell'acqua nell'atto di trasportare arene o ghiaie, non faranno allora sorpresa nè le ampie sotterranee caverne di più miglia, o le profonde valli scavate dai fiumi, nè gli sprofondamenti del suolo, o le ruine e gli scoscendimenti di enormi montagne.

Tra i mille esempi che ci si presentano basterà ricordare i seguenti. Nella celebrata caverna di Adelsberg in Carniola, che si estende parecchie leghe, s'ingolfa il Poick, vi forma un lago, e vi si perde e rinasce più volte. Il Rodano s'indentra nella profonda fenditura scavata dalle sue acque attraverso il Giura sotto il forte dell'Écluse. La Dromma congiunta all'Arvo nel Calvados sparisce a un miriametro di distanza dal mare a piè d'una cava di calcare compatto. Il salto di Niagara, che un tempo dovea trovarsi all'orlo del lago Ontario, per la erosione del fondo rincula sensibilmente verso l'Erie; e in generale tutte le cascate diminuiscono di altezza perchè il livello si abbassa per l'azione corrodente, e i detriti sollevano il livello inferiore. Nel 1792 si spalancò d'un colpo un'ampia voragine nella strada da Lione a Strasburgo, in cui molte case s'inabissarono, e vi si scoperse un lago sotterraneo fino allora sconosciuto. Da ultimo sono vive le luttuose rimembranze degli scoscendimenti delle Alpi, specialmente dei *Diablerets* nel 1749, del Rossberg nel 1806, e del Dent-du-midi nel 1835.

Somiglianti effetti di corrosione produce il mare sul fondo e sul-

le coste coll'azione riunita delle maree, delle correnti, e delle tempeste; nè fa bisogno di prove per dimostrare quello di che ciascuno è testimone dove che sia.

2.° Le distruzioni operate dalle acque si risolvono finalmente in *azioni creatrici* di nuovi terreni, che si formano così per sedimento delle sostanze sciolte, come dai detriti delle rocce corrose.

In quanto ai mari le sabbie e le ghiaie, che ne covrono il fondo e i lidi, non sono che il prodotto della erosione operata dai flutti sulle coste: la loro natura il dimostra, che è vulcanica, ad esempio, nel golfo di Napoli; calcare in quel di Gaeta, e via discorrendo. Talvolta i depositi di ghiaia sono tanto abbondanti, che giungono a opporre una diga insuperabile ai flutti stessi, com' è accaduto in parecchi punti sulla costa d' Inghilterra.

Dalle sorgenti minerali precipita copioso deposito dove siliceo, dove calcare. Tra le sorgenti che depongono silice le più celebrate son quelle dell'isola S. Michele una delle Azzorri, e tutte quelle d'Islanda, massimamente le acque sorgenti di Reykoet, di Langaness, e dei Geysers: le concrezioni silicee di questi ultimi covrono per la spessezza di oltre 4 metri una estensione di presso un miglio quadrato. Assai più frequente e più abbondante è il deposito calcare. Basterà ricordare le concrezioni delle acque di Telese in Terra di lavoro, quelle di Terni nell'Umbria, dello Sprudel a Carlsbad, e specialmente il deposito del ruscello Tiretaine a St. Alyre, che fatto scorrere ad arte sopra una forma di legno à composto un ponte d'un pezzo di 80 metri di lunghezza. In fine non è altra la origine delle concrezioni d'ogni maniera che tapezzano le grotte, come pure dei tufi calcari, e dell' alabastro.

L'azione creatrice de'fiumi è manifesta in tutto il loro corso pel graduato innalzamento del letto, e sovrattutto presso alla foce, dove producono nuove contrade alle spese dei paesi che consumarono nel loro passaggio. Così la Olanda è dovuta ai depositi del Reno, dell'Escaut, della Mosa venuti di Francia e d'Alemagna; una parte del Bengala deve la sua origine agli alluvioni del Gange, e'l basso Egitto alle terre trasportate dal Nilo. Il nome di *Delta* deriva dalla forma triangolare del suolo coverto dal Nilo somigliante al *delta* tra le lettere greche, e generalmente si applica a tutte le contrade di simile natura.

Il deposito dei fiumi diviene più copioso per l'incontro delle loro acque con quelle del mare nel tempo del flusso: si produce al-

lora un fenomeno speciale denominato *barra*, e consiste nel penetrare una o più onde nel fiume, che è costretto a rinculare. Nei grandi fiumi di America lo spettacolo è oltre quanto può dirsi sorprendente e pauroso specialmente durante le piene, e l'indomani delle sigizie. Il gigante de'fiumi, quello delle Amazzoni, cozza colla marea ascendente con montagne d'acqua alte 60 metri: l'urto terribile, che gl'indiani chiamano *pororoca*, solleva scogli come ghiaia leggiera, scuote le isole circostanti, e ne echeggia il muggito a più miglia da lungi.

310. **Diminuzione delle acque.** Da generali e costanti osservazioni abbiam dritto ad inferire che le acque man mano diminuiscono sulla terra.

Primamente tutt'i fiumi àn lasciato tracce evidenti di loro antica possanza, e ci fanno argomentare che un tempo colmassero al-l'intutto quelle valli, al cui fondo attualmente serpeggiano. Infatti nella foresta di Rougeau esistono solchi cagionati dalle corrosioni della Senna ben 28 metri più in su delle maggiori piene attuali. Saussure non finiva di maravigliarsi delle colline di ghiaia, che si elevano sopra il letto del Rodano sino a 300 metri per l'ampiezza di valli intere di 3 in 4 leghe di larghezza. Secondo Humboldt l'Orenoco d'oggidì è appena un residuo delle correnti che traversavano il paese all'Est delle Ande: anzi il bacino stesso delle Amazzoni 15 volte più esteso della Francia intera dovea esser congiunto a quello dell'Orenoco, essendovi comunicazione fra essi mediante il Cassiquiari e altri fiumi. All'istesso modo il S. Lorenzo colmando una volta i suoi grandi bacini, formava unito al Misissipi un ampio mare interno di acqua dolce.

Il diminuire col tempo la profondità dei laghi non è già argomento della diminuzione delle acque; chè quelli si vanno colmando per gl'interrimenti cagionati dai fiumi, e più rapidamente quanto più sono vicini alle montagne, come i laghi di Neuchatel e di Annecy tra le Alpi e quel di Oo ne'Pirenei. Ma ben altre pruove e dirette dimostrano l'impoverimento successivo dei laghi, e fanno argomentare il loro futuro disseccamento. Il Titicaca, il più gran lago dell'America del Sud, era un tempo un piccolo Caspio: colmava un bacino di 140 leghe di lunghezza sopra 5 di larghezza, ed ora si estende sole 70 leghe in lunghezza e circa 20 nella sua maggiore larghezza. Il Tacarigua si dissecca sensibilmente: dovunque si eleva una capanna presso la sponda, se 'n vede discosta tra un an-

no, e già vasti terreni non è gran tempo coverti dalle acque sono al presente coltivati in banani, in cotoni, in canne da zucchero. Secondo l'avviso di Humboldt i laghi che abbondano nel Messico e si veggono annualmente impoverire di acque, sono appena un residuo di quelli che costituiscono i grandi bacini negli alti piani delle Cordigliere. L'aumento di salsuggine nelle acque del lago Asfaltico, che non contengono oggidì meno del 25 per 100 di sali, dimostra la sottrazione delle acque. Ma l'argomento più valido e più specioso si trae dall'abbassamento successivo del Caspio. La presenza di fossili di origine moderna sulle sue sponde, disposte a strati di vario livello, le grandi pianure sabbiose sparse di stagni di acqua salsa, e l'analogia degli animali marini che abitano il suo bacino e quello del mar Nero, bastano a provare che il Caspio e 'l mar Nero ànno dovuto essere congiunti un tempo. Inoltre la identità di composizione del Caspio e del lago Aral, e 'l non essere descritto quest'ultimo nelle carte più antiche fa credere, che entrambi formassero un lago solo anche ne' tempi storici. Or se riflettasi che al presente il mar Nero è più elevato del Caspio 94 metri, ma il suo livello resta pure 40 metri sottoposto alla spina de' due bacini, se ne inferirà un abbassamento totale di 136 metri.

In quanto alla diminuzione delle acque de' mari, sebbene non vediamo da per tutto un costante abbassamento nel loro livello, pure basta a convincercene la seguente osservazione di Patrin: che gli enormi depositi di ghiaie, di sabbie, di limo, e d'ogni maniera di detriti cagionati dai fiumi dovrebbero far rifluire gli oceani sui continenti, se la massa delle loro acque non diminuisse perennemente. I corsi d'acqua mentre logorano le terre e le abbassano, sollevano il fondo dei mari, e l'altezza delle acque diviene successivamente minore. Tutto porta a credere che coll'andare de' secoli i bacini de' mari si dissecceheranno completamente, e lice anche divinare come questo sia per avvenire. Cioè i continenti diverranno gradatamente più estesi; sorgeranno nuove isole, e poi nuovi arcipelaghi; e, poichè questi non sono che le sommità di catene o di gruppi di montagne sotto-marine, si comporranno in regioni montuose, le cui valli saranno altrettanti golfi o baie: le correnti marine si trasformeranno in ampî fiumi: più numerosi diverranno i mediterranei, i quali man mano si separeranno tra loro cangiandosi in laghi, e da ultimo si dissecceheranno interamente. Diminuendo così per gradi le acque, andrà crescendo la

copia relativa delle sostanze sciolte: e raggiunto il punto di saturazione dovranno precipitare a strati, come già succede in parecchi laghi, e secondo Lyell anche nel Mediterraneo.

Non è difficile assegnare la cagione di un fatto così importante. La quantità di acqua che i fiumi trasportano al mare è assai inferiore di quanta ne cade nelle piogge in un determinato bacino. Ad esempio l'acqua, che scorre in un anno per la Senna, sta alla quantità media di pioggia che cade in un anno nel suo bacino come 1: 3. La ragione sarebbe di 1:6 secondo i calcoli di Mariotte. Adunque almeno due terze parti o generano nuovi vapori, e poi nuvole e pioggia, o assorbite dalla superficie del suolo servono alla vegetazione e alla vita degli animali, o s'infiltrano negli strati sottoposti per alimentare le sorgenti, o si combinano con le sostanze minerali, e con le rocce dell'interno del globo. Or la maggior parte dell'acqua che entra in combinazione con le sostanze organiche, o minerali, cessa d'esistere allo stato liquido.

Leslie tentò di misurare la quantità di lavoro o la forza meccanica corrispondente alla evaporazione. Ei suppose che tutta l'acqua caduta in pioggia ne'diversi climi pareggiasse quella che s'innalza in vapore; e ponendo con una specie di compenso che tutta si arresti ad un'altezza media, rappresentò la forza di evaporazione nei suoi effetti meccanici mediante una massa conosciuta d'acqua elevata verticalmente ad un'altezza anch'essa conosciuta. Or con questi dati dedusse che la forza impiegata dalla natura nella formazione delle nuvole rappresenta il lavoro di 80 milioni di milioni di uomini, cioè 200000 volte il lavoro, di che è capace la intera specie umana. Ma quella prima supposizione del valente fisico non regge per ciò che abbiam dimostrato. Adunque anche questa forza della natura al pari di tutte le altre coll'andar de'secoli si affievolisce e invecchia.

FENOMENI ELETTRICI

311. Esistenza della elettricità meteorica. I rapidi progressi delle scoverte elettriche in sulla fine del secolo XVIII avean già fatto paragonare il moto tortuoso della scintilla al guizzar del baleno tra le nuvole procellose, e lo scricchiolare di quella allo scoppio del tuono. Guerrike e Wall furono i primi ad averne la idea, e vacillò la ipotesi, che attribuiva quei fatti ad esplosione

di vapori, e a nitro e solfo esistenti nell'atmosfera. L'analogia fu completa quando si conobbero gli effetti delle potenti batterie, le cui scariche al pari del fulmine cagionano scoppio, fondono e volatilizzano metalli,spezzano i corpi che invadono, accendono materie combustibili, spandono odore come solfureo, e uccidono gli animali. Ciò non ostante non finiamo di maravigliarci che i fisici di quel tempo con tanta perplessità affermassero quel vero, e, anzichè vederlo a tanta chiarezza di luce, il divinassero. Infra gli altri Nollet, il più esercitato in esperienze elettriche, in tal modo ne parla: *se altri cercasse dimostrare mediante l'analogia de' fenomeni che il tuono in potere della natura è la stessa cosa che l'elettrico nelle nostre mani, e che gli effetti maravigliosi prodotti da noi a piacere sieno solamente meschine imitazioni de'fatti naturali che tanto temiamo, non mi spiacerebbe mica siffatta idea, se conseguentemente venisse sviluppata.*

Alla mente sublime però di Beniamino Franklin rivelossi con evidenza la identità teoretica tra il fulmine e la elettricità artificiale; e nella sua Memoria del 1749 proclamò che il fatto dovea tentarsi, se cioè veramente una punta fosse capace di sottrarre alle nuvole elettricità identica a quella delle nostre macchine: *convien farne la esperienza.* Ei si accinse all'esperimento, ed a tal fine aspettava fosse terminata la erezione d' una torre a Filadelfia. Ma poi impaziente di altro indugio stimò che un *cervo volante* munito di punta potesse valergli allo scopo; e senza più nel giugno 1752 fissato un fazzoletto di seta pe'quattro estremi a due verghe di abete disposte in croce, con in cima una punta metallica, e raccomandatolo a una corda alla consueta maniera con che del cervo volante si trastullano i fanciulli, il sollevò in aperto campo in un dì procelloso, avendo a solo compagno e testimone della grande scoverta il suo giovane figlio *per tema,* com'ei confessa, *del ridicolo che suole accompagnare i tentativi non coronati di felice riuscimento.* Egli avea legato al canape una chiave, e questa mediante un cordone di seta a un albero. Dapprima tentò invano di trarre scintille dalla chiave; ma quando la corda al sopravvenir della pioggia andò acquistando virtù conduttrice, o per altra cagione, i suoi estremi sfioccati furon visti divergere come per ripulsione con quel leggiero strepitio che accompagna il lento dissiparsi dell'elettrico; ed egli allora appressando il dito alla chiave ne trasse la desiderata scintilla, e tanta gioia il prese, che ne pianse di contento, ed asserisce che volentieri in quel punto avria cessato di vivere.

Lo stesso risultamento avea ottenuto un mese innanzi il Dalibart a Parigi incitato dalla Memoria di Franklin volgarizzata e messa a stampa colà per opera di Buffon. L'anno dopo il Romas intrecciando nel canape un filo metallico, ne ebbe effetti incomparabilmente maggiori, cioè delle scintille grosse oltre due centimetri, lunghe tre metri; ed una volta fu stramazzato al suolo dalla violenza della scossa. Ma il fato di Richmann, che incautamente sperimentando come il Romas rimase morto del fulmine, a lui meritò il glorioso nome di *martire dell' elettrico*, e fè più avvertiti i non invidiosi della sua sorte a tenersi bene isolati dal torrente fulmineo, che pel filo si scarica. Da quell'epoca molti a gara studiarono i fenomeni e le leggi della elettricità meteorica esistente nell' aria non solo durante le tempeste, ma anche nelle semplici piogge, ed a cielo serenissimo.

312. **Metodi di sperimentare.** Gli ordigni usati van distinti in due categorie: gli uni sono *temporanei*, e ne dimostrano la esistenza; gli altri sono *permanenti*, e si prestano quale più, quale meno, allo scovrimento delle leggi.

Gli ordigni *temporanei* sono quelli, che si lanciano in aria come il cervo volante di Franklin, un razzo, una freccia; e vale meglio un palloncino a idrogeno armato di punta, e raccomandato a corda metallica, la quale si va svolgendo man mano da un cilindro di legno isolato: un elettrometro anche esso isolato, e toccante la corda segna la tensione elettrica. Ma cotesti mezzi non danno risultamenti paragonabili.

Gli ordigni *permanenti* van distinti in quattro classi: *conduttore fisso*, *elettrometro fisso*, *elettrometro mobile*, e *conduttore mobile*.

1. Il *conduttore fisso* è un cilindro o un globo metallico armato di una o più punte, che si pianta in cima d'un edifizio, da cui è bene isolato, e con filo metallico comunica coll'elettrometro. Sulla punta si colloca con vantaggio una lampada a spirito, o un solfanello acceso o dell'esca tagliata a strisce sottili. Per iscovrire poi la natura dell'elettricità si può avvicinare al pendolo elettrico una bacchetta di cera lacca strofinata; e meglio di ogni altro mezzo serve l'elettroscopio di Bonhemberger. Così raccogliesi elettricità di *tensione*. Ma Colladon il primo ebbe anche segni di *corrente* impiegando un galvanometro a filo lungo, le cui spire erano assai bene isolate, come per la elettricità di strofinio. La punta isolata comunica mediante corda metallica con un de'capi del filo galvanometrico, e 'l secondo di questi col suolo.

2. *Elettrometro fisso.* De Saussure e Volta ànno sperimentato mediante un semplice elettrometro armato con verga metallica di più pezzi, e con ciò atta a essere allungata secondo il bisogno. Il Volta pure adoperò sovente il suo elettrometro-condensatore.

3. *Elettrometro mobile.* Dalle sperienze di Saussure e di Ermann ben si deduceva che i movimenti degli elettrometri cagionati dalla elettricità atmosferica provenivano d'ordinario per influenza ; ed il Peltier ad averli più spiccati si valse nel seguente modo dell'*elettrometro mobile.* Sovrappose al suo *elettrometro ad indice orizzontale* (45,8°) un cappelletto per preservarlo dalla pioggia, e più in su un globo metallico operante da conduttore, e non una punta per la quale l'elettrico agevolmente si sarebbe dissipato. Ei collocava in prima l'istrumento sopra una tavola bene equilibrato, poi il sollevava in alto all'aria libera, con che veniva ad elettrizzarsi per influenza, indi toccavane col dito o meglio con lungo filo metallico la parte inferiore del conduttore sovrapposto; ed immediatamente abbassatelo il rimetteva sulla tavola nella stessa posizione che dianzi. La deviazione dell'ago, dopo cessate le oscillazioni, indica e misura lo stato elettrico dell'atmosfera. La natura però dell'elettrico sarà necessariamente opposta a quella dell'istrumento ; ossia se l' elettrometro si trova carico di elettricità negativa sarà prova che l'atmosfera è positiva, e per converso. Cotesto metodo è incomparabilmente migliore de'precedenti; il Quetelet lo à messo in pratica per lunghi anni nell' osservatorio di Bruxelles, ed à fatto con esso importanti scoverte. Pure non è a tacere che presenta alquanti inconvenienti nell'uso; e dippiù sembra che le indicazioni d'intensità non sieno sempre veridiche. Imperocchè le deviazioni *impulsive* dell' indice, nell'atto che l'istrumento sente la influenza, son veramente quelle che ne misurano la intensità, e non le deviazioni *definitive*, cioè quelle dove l'ago si arresta cessate le oscillazioni. L'arco impulsivo e'l definitivo si corrisponderebbero con ragione costante solamente se s'impiegasse per ogni esperienza lo stesso intervallo di tempo, e se le condizioni di umidità atmosferica e d'isolamento fossero sempre le medesime : il che, come ognuno comprende, non può supporsi.

4. *Conduttore mobile.* Se fu di altrui la prima idea di esplorare la elettricità atmosferica mediante conduttore mobile , è merito del Palmieri l'averne composto un ordigno speciale, maneggevole, e adatto a osservazioni precise. Esso consiste in una canna di

ottone lunga circa tre metri con diametro di 15^{mm},che traversa un foro fatto nel cielo d'una cameretta elevata e bene esposta: finisce in alto con un globo metallico leggerissimo, al quale si può aggiungere una punta o una corona di punte, e anche una lanterna: più in giù v' è un tetto corsoio disposto così, che quando il conduttore si abbassa chiude il foro. È sempre isolato e verticale; e gli si dà moto di salita e di discesa tirando o lasciando l'estremo di una corda. Finalmente nell' interno della stanza sopra una mensola v'è un elettrometro ad indice, un galvanometro, e l' elettroscopio di Bonhemberger, con ciascun de' quali strumenti può comunicare il conduttore mediante un filo di rame lungo circa un metro e vestito di seta.

Quest'ordigno racchiude sommi vantaggi. Può usarsi qual conduttore fisso, l'isolamento è completo, l'osservatore è al coverto, le osservazioni sono spedite, le tensioni si veggono come a stato nascente, e dippiù i risultamenti sono comparabili quando si dieno al conduttore mobile le stesse dimensioni, e la stessa corsa, e siasi fissata per l'elettrometro la unità di misura.

313.**Fatti e leggi della elettricità meteorica.** Lo stato elettrico dell'atmosfera è diverso al cangiare le condizioni; altro è il *normale*, ossia a cielo sereno, altro durante la pioggia o le tempeste: esaminiamo i diversi casi partitamente.

1. *Elettricità a cielo sereno.* De Saussure e Ermann conobbero i primi, che a cielo sereno l' aria è costantemente positiva. La intensità poi cresce con l'altezza:alla superficie del suolo è nulla, e non comincia ad esser sensibile in aperta campagna che all'altezza di 1 a 2 metri. È anche maggiore di quella che si avvera a cielo nuvoloso, purchè non cada pioggia o grandine o neve.

La elettricità atmosferica segue due periodi, l'uno *diurno*, l'altro *annuo*. Il *diurno* presenta due massimi e due minimi con piccole differenze dipendenti dalle stagioni; prendendo la media, i due minimi sono alle 2 di mattina e di sera, e i due massimi alle 10 di mattina e di sera; alle undici di mattina si à la media di tutte le deviazioni osservate nelle singole ore del giorno.

V'è pure un periodo *annuo*: la elettricità è più forte d'inverno che di està. Ecco le deviazioni medie ne' singoli mesi osservate a Bruxelles da Quetelet nel 1846 coll'istrumento di Peltier:

Gennaio 562°, Febbraio 256, Marzo 95, Aprile 94, Maggio 49, Giugno 39
Luglio 33°, Agosto 57, Sett. 62, Ott. 98, Nov. 274, Dec. 799.

2. *Elettricità a cielo nuvoloso.* Si opina comunemente che v' à delle nuvole positive, e delle nuvole negative; e che queste sieno come immensi conduttori che possono caricarsi dell'una o dell'altra elettricità. Palmieri invece vorrebbe che se almeno a distanza di 30 miglia dal luogo dell'osservazione non cade o pioggia, o grandine o neve, l'elettricità del cielo nuvoloso è sempre positiva come quella del cielo sereno, tranne che alquanto più debole. Lo stesso Beccaria avea osservato che quando nubi solitarie passano per lo zenit si avvera uno scemamento di tensione, che si accresce di nuovo appena la nube si è allontanata.

Ma nè a cielo sereno nè a cielo semplicemente nuvoloso si ànno mai segni nè di elettricità dinamica, nè di elettricità scintillante come quando si elevano conduttori isolati alla maniera di Franklin, e cade pioggia o grandine o neve.

3. *Elettricità durante la pioggia.* Similmente si crede esservi delle piogge con elettricità positiva, e delle altre con elettricità negativa; ma Quetelet intravide, e Palmieri enunciò la seguente semplicissima legge che: *ove cade la pioggia si à forte elettricità positiva con una zona intorno di elettricità negativa seguita da una seconda di elettricità positiva, la quale rapidamente declina in intensità quasi tendendo a divenire nulla ad una certa distanza.* Laonde osservando da un luogo abbastanza alto e isolato, e supponendo che la pioggia apparisca in distanza, e poi si avvicini, raggiunga l'osservatore, e l'oltrepassi, si avrà il seguente periodo: mentre la pioggia è assai discosta si presenterà una diminuzione di elettricità positiva, poi incremento sino a divenire scintillante, indi rapida diminuzione fino a zero: divien poi negativa e forte da produrre scintille e deviazione al galvanometro. Allorchè la pioggia è nel luogo dell'osservazione, si à prima zero, poi vigorosa elettricità positiva; e mentre si allontana si osservano gli stessi avvicendamenti in ordine inverso. Ognuno poi comprende che deve di necessità occultarsi un tale periodo per una scambievole influenza allorchè avvengono piogge complesse, ossia allorchè piove a un tempo in diversi punti dell'orizzonte.

4. *Elettricità durante la rugiada e la nebbia.* In formarsi rugiada l'atmosfera dà segni di più o meno forte elettricità positiva. Similmente tensione elettrica forte si svolge nelle nebbie, e Saussure afferma di non aver mai osservato il contrario. Questa d'ordinario è positiva, rare volte negativa: secondo Schubler è più debole di està che d'inverno.

314. Temporali. Si denomina *temporale* una tempesta o procella atmosferica, cioè un complesso di fatti, ne'quali si manifesta la elettricità meteorica con tutta la sua magnificenza; rovesci d'acqua o di grandine, vento impetuoso e intermittente con buffi più gagliardi, ed elettricità con forte tensione scaricantesi per mezzo de'fulmini.

Formazione de'temporali. Sovente il generarsi e l'apparire d'un temporale è quasi repentino: i cirri si cangiano in cirro-strati assai densi, e i cumuli isolati in cumulo-strati e in nembi: il che può anche avvenire a un tempo in parecchi punti dell' orizzonte. Altre volte il cielo molte ore prima che scoppi il temporale si mostra biancastro per lunghe diramazioni de'filamenti de'cirri: man mano diviene più sbiadita la luce solare, e appalono altresì aloni e parelii: poi componesi un primo strato di cumuli, che si mesce e forma una massa con lo strato superiore: talvolta pure sorge un secondo strato inferiore, visibile principalmente tra le montagne.

Il barometro si abbassa alquanto prima che scoppi il temporale; la temperatura si eleva alcun poco, e pure il calore è opprimente; ma per poco si ascenda osservasi piuttosto un abbassamento di temperatura. Tutto ciò è di accordo con la corrente ascendente di aria e di vapori, che presto condensati precipitano in dirotta pioggia. Oltre a questi vi sono anche de' temporali, che si accompagnano con la zuffa di due venti opposti.

Si opina comunemente che le nuvole temporalesche sieno molto basse: ciò può esser vero considerando solo i cumuli e i nembi, senza por mente alla grande influenza de' cirri. Del resto sovente i temporali sono altissimi sino a passare talvolta in Isvizzera di là dal Righi e dal monte Bianco; ma per l'ordinario le montagne isolate, o le creste delle più alte giogaie sogliono essere termine de'temporali, che si dividono secondo le regioni.

Loro frequenza. Senza pioggia non v' è nè fulmine, nè temporale. Laonde fra i tropici, così nei paesi dove mai non piove, come negli altri durante la stagione secca non si formano temporali. E per converso è quella la zona, in cui si manifestano i temporali in tutta la loro grandezza; cioè nella regione delle calme ogni dì, e nelle altre durante la stagione piovosa, o al cambiar dei monsoni. Allorchè il vento è spodestato prendono sovente il nome spagnuolo di *tornados* o *trovados*: nelle Antille, all'isola di Francia, e nell'Indostan si chiamano *uragani*.

La frequenza poi de' temporali diventa minore coll'aumento di latitudine e della distanza dal mare. Ad esempio in Sicilia e in Grecia il numero dei temporali nell'anno è circa 40: la metà in Germania, appena 6 nella penisola scandinava, e Gisecke in 5 anni di dimora in Groenlandia vi osservò un solo temporale. Similmente decrescono i temporali ne'paesi di Europa dalla Francia in Siberia secondo si vanno allontanando dall' Atlantico. Da ultimo sono più frequenti tra i monti che nelle pianure.

In generale in Europa sono più frequenti i temporali di està, meno di primavera e d'autunno, rari d'inverno. E per l'ordinario avvengono di giorno nell'ora del massimo calore diurno: ma non sono rari in altre ore, e anche di notte, specialmente tra monti.

I temporali sono sempre di breve durata, che di rado eccede i 20': talvolta si seguono l'uno all'altro, d'onde sembrano persistere più a lungo; ma comunque impetuosi sogliono occupare uno spazio assai ristretto, regnando calma perfetta a breve distanza.

La *periodicità* ne' temporali non è difficile a spiegarsi. Le stesse cagioni li determinano più giorni di seguito, e per l'ordinario con lieve differenza di tempo in ritardo, finchè una pioggia abbondevolissima non cangi in tutto le condizioni atmosferiche.

315. **Elettricità de' temporali.** La elettricità atmosferica durante i temporali serba gli stessi periodi, come nelle piogge, tranne che le zone di elettricità opposte sono più ampie, e la tensione elettrica assai più valida, donde le frequenti scariche spontanee per mezzo dei fulmini. Di qui i segni di elettricità ora positiva ora negativa secondo le varie zone in cui si trova successivamente l'osservatore nell' atto dell' avvicinamento, dello scoppio, dell'allontanamento del temporale. Ma il carattere d'una tempesta aerea, e l'influenza degli stati elettrici opposti, che ora debbono simularsi in tutto ò in parte, ora si neutralizzano mediante le scariche, e ora dan luogo ad una elettricità vindice, non permettono trarre dalle osservazioni risultamenti così semplici come nelle piogge. Coteste anomalie si osservano a conduttore o fisso o mobile, e usando qualunque strumento misuratore o di tensione o di corrente. Il solo fatto costante è un aumento di tensione poco prima dello scoppio del fulmine: la quale diminuisce considerevolmente, e poi si accresce di nuovo.

316. **Fulmine, lampo, tuono.** La scarica luminosa della elettricità meteorica con forte tensione dicesi *fulmine* o *folgore*:

lampo o *baleno* è la luce che l'accompagna; e *tuono* il fragore, che ne vien generato, pel subito dilatarsi dell'aria, e per quella che si precipita nel vuoto che si è formato. Ma la descrizione più bella del mondo di tai grandiosi fenomeni non ce ne darebbe idea migliore di quella che ciascuno ne à dall'esperienza.

Guizza la folgore or tra una nuvola e l'altra, or tra una nuvola e la terra. Si è parlato anche di folgori *ascendenti* e *discendenti*; ma le sperienze di Wheatstone sulle scariche àn dimostrato e il fatto conferma che appaiono a un tempo ai due estremi: adunque la frase di uso *il fulmine cade* vale solo ad esprimere un effetto.

Il lampo sovente mostrasi senza forma quale un semplice chiarore che illustra grande ampiezza di Cielo, perchè una nuvola sottoposta ci asconde il suo cammino. Ma d'ordinario brilla di più viva luce e prende figura ristretta e sinuosa ad angoli spiccati, che talora dividesi in più rami, specialmente allorchè corre grandi distanze. Talvolta pure, ma assai di rado, si presenta il fulmine in forma di globo di fuoco che muove lentamente, e sembra cadere alla maniera de'corpi pesanti, rimbalza dal suolo, e spesso suddividesi in globi minori. A tacere di altri esempî basterà ricordare quello, che a dì 8 giugno 1859 colpì la torre e la Chiesa di Argenteuil, e ne studiarono gli effetti Pouillet e Moigno. Non è improbabile la spiegazione della folgore globulare proposta dal Moigno; che cioè intervenga allorchè la scarica si trova arrestata subitamente per interruzione del conduttore, o allorchè questo si piega ad angolo troppo acuto; in tal caso la materia elettrica si addensa, la sua velocità di traslazione diminuisce, e prende la forma naturale d'equilibrio, la sferica. Ma cotesto equilibrio è assai instabile: dura appena qualche secondi, e presso un corpo solido il globo fulmineo esplode. Il dottor Noath a Londra avendo a sua disposizione la scarica della enorme macchina del Panopticon, la costringe a prendere forma globulare facendola saltare da una sfera di piccolo diametro e scendere per entro un tubo lungo sei metri, nel quale produce un vuoto parziale.

Il colore del baleno è il bianco più o meno abbagliante: talvolta à molto del violetto perchè si muove in aria assai rara.

Nello scroscio del *tuono* convien distinguere un rumore primitivo e come proprio della scarica dal prolungato fragore che segue. Quello suole essere unico, e or somigliante a un colpo di cannone, or più acuto, crepitante, e analogo a quello di carta che si

laceri o di vasellame che frangasi. Il secondo dura fino a un minuto, e dicesi *rullio* che è sostenuto e tremolante come quello di un tamburo. La sua intensità è varia: sovente non è massima al principio, ma sembra rinvigorire con isolati colpi somiglianti a quelli d'un peso, che vien giù per una gradinata. Non si può dubitare che di questo muggito del tuono la principale cagione è veramente l'eco prodotto così dagli oggetti terrestri, come pure dalle medesime nuvole, e dalla superficie di separazione fra gli strati d' aria di diversa densità. Laonde non deve recare sorpresa che questo suono prolungato si avveri pure nell' oceano lungi dalle coste, ma assai più debole che dentro terra e nei paesi montuosi. Purtuttavolta è da por mente alla influenza che sul rumore del tuono deve avere la costituzione medesima della folgore. Le osservazioni di Dove ci assicurano essere questa composta da una serie di esplosioni; ciascuna dunque deve generare un fragore; ed Helvig dalla forma tortuosa, e dai fulmini che à veduto guizzare a più salti, à dedotto la diversa intensità della scarica maggiore ai vertici degli angoli, e quindi i periodi di varia gagliardia nel tuono. Ma se vogliamo spiegare adequatamente l'assoluto silenzio, che talvolta si osserva nel tuono per qualche secondo, ed il ricominciare con novella forza, fa d'uopo ricorrere di necessità alla interferenza de'raggi sonori sieno diretti sieno riflessi.

Di quì si comprende che, se il rumore del tuono fosse semplice, e breve distanza percorresse la folgore nel suo tragitto, o se in superare grandi distanze si movesse in giro per una circonferenza, al cui centro fosse collocato l' osservatore, si potrebbe ben calcolare la lontananza dello scoppio contando i secondi di ritardo tra l'apparire del lampo e lo scroscio del tuono: la distanza sarebbe di altrettante volte 340 metri. Ma la cosa procede ben altrimenti; e quel ritardo misura solo la distanza tra l' osservatore e' l punto più prossimo del camino della folgore.

I lampi senza tuono non infrequenti nelle regioni tropicali, e anche fra noi, specialmente le sere estive, per che diconsi *lampi di calore*, non sono altro che indizio di temporali lontani così, che il tuono non ne perviene all' orecchio. Le mille volte interrogato il telegrafo elettrico à risposto che in quella direzione appunto imperversava un temporale. All'istesso modo si à di giorno un *tuono senza lampo*, se la luce del giorno oscura il baleno.

317. Effetti del fulmine. È completa l'analogia tra gli ef-

fetti del fulmine e quelli della elettricità artificiale di tensione, e noi sovente in trattare di questa abbiam recato esempi appartenenti alla prima.

Innanzi tutto vogliam notare che di preferenza sono colpiti dal fulmine i corpi buoni conduttori, e specialmente i metalli. Esso ne segue fedelmente il corso senza deviare, e salta dall'uno all'altro, e comunque sieno disgiunti sovente tutti gl'invade. Così nel 1842 cadde la folgore a Illes (Pirenei orientali) in una officina da chiavaiuolo piena zeppa, com'è naturale, di masse e di arnesi di ferro e di rame d' ogni maniera, e per giunta i balconi erano guerniti di apagnolette, di ganci, di fermagli, di gangheri e che so io. Tutti questi pezzi metallici furono tocchi dalla poderosa scarica, tutte le parti connesse furono svitate e sparse per ogni senso, lasciando illesi tutti gli altri oggetti. Se il fulmine traversa un muro sceglie quelle parti, che sono in relazione con metalli esistenti all'esterno o all'interno di esso. Con questa guida diam ragione di parecchie anomalie, che osserviamo ne'danni cagionati dal fulmine, i quali spesso si avverano su punti meno sporgenti; ma fattane ricerca si trova esservi colà de' metalli. Spesso tale preferenza à del maraviglioso. Plinio racconta, che il fulmine à fuso argento, oro, rame contenuti in un sacco senza bruciarlo, e senza neanco rammollire la cera impiegata a suggellarne la legatura. E senza ricorrere ad autorità lontane ci basti quella di De la Rive, il quale racconta che ad una dama nello sporgere il braccio fuori una finestra fu portato via da un fulmine il braccialetto d'oro; e che un'altra ne ebbe il cappello ridotto in cenere per un filo metallico che correva nel contorno di esso, e dava forma alla stoffa, e la teneva in sito; senza che l'una o l'altra ne ricevessero lesione di sorta tranne un leggerissimo scuotimento.

Dopo i metalli sono colpiti facilmente i semiconduttori, ad esempio i corpi umidi, come gli alberi, meno i resinosi che gli altri.

In generale colpisce il fulmine più i siti elevati che le pianure secondo quel di Orazio per Gargallo

. . . A'monti più ardui saetta
Folgor le cime.

Ma vi sono pure de'luoghi scelti a preferenza senza cagione ben nota. Infatti narra Boissingault che nella repubblica della Nuova

Granata niuno abita volentieri al *Sitio de Tumba Barreto* per la frequenza della folgore: gode la stessa celebrità la *Loma de Pitago* presso Papayan.

Gli effetti del fulmine van distinti in *meccanici*, *fisici*, *chimici* e *fisiologici*.

Effetti meccanici. Allorchè il fulmine invade corpi isolanti o cattivi conduttori, specialmente edifizî, o grandi masse di pietra o di legno, produce in essi gli effetti della scarica che chiamammo *di rottura*, cioè li rovescia, li fende, li frange, li disperde in distanza, sovente riducendoli in frammenti. Su i corpi fulminati si depone talvolta una sostanza straniera, che indica un trasporto di materia ponderabile.

Effetti fisici. Fusione e volatilizzamento sono gli effetti che provano i metalli colpiti dal fulmine. Se ànno poca spessezza spariscono trasformati in vapore, come accade alle dorature d' un appartamento, ai fili metallici de'campanelli, ai galloni d'oro de' ricami, e simili. Se il loro diametro è maggiore, in tutto o in parte si fondono: infatti nel mulino a vento di Great-Marton nel Lancashire fulminato il 20 aprile 1807 trovavasi una grossa catena di ferro destinata ad alzare il grano, la quale ne divenne molle così, che saldatisi insieme gli anelli trasformossi in una barra di ferro. Similmente per fulmine caduto sul battello a vapore il *New-Jork* l' aprile 1847 si fuse un tubo di piombo di 8 centimetri di diametro, e 13 millimetri di spessezza.

Anche le rocce ne restano sovente semifuse, altre volte vetrificate; di qui la origine de' *tubi fulminei*, o *folgoriti*, cennati altrove: è detto imitarsi da noi con le poderose scariche di elettricità artificiale come quello che serbasi in Firenze prodotto dal Nobili.

Per lo scoppiare d' un fulmine presso una nave sovente viene alterato o invertito il magnetismo negli aghi delle bussole. Inoltre i ferri del bastimento ne sono calamitati; ed anche il bilanciere e le altre piccole parti di acciaio, che entrano nella composizione del cronometro. Di qui un doppio inconveniente per la navigazione dalla influenza del magnetismo terrestre: se ne avvide primamente il Duperrey nel suo viaggio sulla *Coquille*, e fu confermato in arrivare a Liverpool il battello *New-York* che abbiamo citato poc'anzi, i cui cronometri antecipavano di 33′, 58″.

Effetti chimici. Liebig à scoverto la presenza dell'acido azotico nelle acque de'temporali, Barral quella dell'azotato di ammoniaca,

e Victor Legrip quella dell' acido solforico. Or queste azioni chimiche sono dovute alla elettricità atmosferica, avendo dimostrato Scoenbein che sotto la influenza delle scariche elettriche per la conversione dell'ossigeno in ozono si compongono ossigeno e azoto in acido azotico.

La presenza de'sali ammoniacali nelle acque procellose deve esercitare una qualche influenza sulla vegetazione. De la Rive non trova improbabile che le nitriere naturali debbano la loro origine all'acido azotico formato per elettricità meteorica.

Alla esistenza poi di maggiore o minor quantità di ozono nell'aria si attribuisce una virtù sulla economia animale: di quì la idea di determinarne la copia o l' attività mediante osservazioni quotidiane o anche orarie. L'*ozonometro* di Scoenbein è fondato sul potere che à l'ozono di scomporre il ioduro di potassio, e il iodo dal suo canto di colorare in violetto la salda d'amido. Si compone dunque d'una listarella di carta, sulla quale sono dipinte dieci gradazioni di violetto dalla più sbiadita alla più carica, e di carte preparate con soluzione di ioduro di potassio e con amido: una di queste si espone per un tempo determinato colà ove vuol farsi la osservazione, e poi si definisce se v'è alterazione di tinta e in qual grado comparandola alla scala precedente.

Tra gli effetti chimici più tremendi del fulmine van noverati certamente gl'incendî non rari di bastimenti, e di edifizî in città e più spesso in campagna; non che le terribili esplosioni de'depositi di polvere da sparo. Vogliam notare essere avvenuto talvolta che la folgore à penetrato una polveriera senza accendervi la polvere, ma solo dissipandola per ogni verso; e ciò probabilmente secondo il De la Rive perchè la brucia allora soltanto quando incontra una certa resistenza nel suo cammino che ne diminuisce la velocità.

Effetti fisiologici. È potente l'azione del fulmine sugli animali: or gli uccide, or li ferisce solamente, o in altra guisa lascia in essi traccia del suo passaggio. D'ordinario presceglie il sistema nervoso producendovi profonde alterazioni; o lede il sistema vascolare cagionando espansione del sangue e d'altri liquidi; d'onde morte istantanea, e nel secondo caso putrefazione assai più rapida del consueto. Ferite di vario genere sono conseguenza del fulmine; e sovente delle scottature, le quali per avviso di De la Rive non sono che mediate per effetto dell' abbruciamento delle vesti. Sovente i

peli del corpo sono bruciati e spariscono, giacchè per essi a motivo di loro forma si opera la trasmissione dell'elettrico tra il corpo e gli oggetti circostanti. Più comunemente nei fulminati si avverano delle paralisi parziali: la sordità, l'amaurosi con dilatazione e perdita della contrattilità della pupilla: i quali danni però sogliono sparire dopo giorni o settimane.

Le mutilazioni de' corpi fulminati sono assai rare : non così le lesioni meccaniche talvolta leggiere, tale altra profonde sino a restarne infrante le ossa: il cranio d'un uomo colpito dal fulmine si trovò come schiacciato da enorme peso. Sovente cotesti effetti sono in relazione con oggetti metallici esistenti negli abiti dell'individuo fulminato: ad esempio sul cadavere d'un tale a nome Politi morto di fulmine a Zante nel 1836 furono trovate le impronte di alquante monete, che quegli si avea in tasca, e rimasero colà intatte lungi dal sito del corpo che ne mostrava le impressioni. In generale nulla è così variabile come i disordini che si avverano negli organi così esterni che interni.

Se cade la folgore sopra più persone disposte in linea retta o in curva non chiusa, i maggiori danni son di coloro che trovansi agli estremi della serie. Il 22 agosto 1808 era fulminata una casa del villaggio Knonau in Isvizzera, in cui cinque fanciulli leggevano assisi a un banco: il primo e l'ultimo morirono all'istante. Per fulmine caduto in una scuderia a Rambouillet il 2 agosto 1785 trenta cavalli, che trovavansi allineati, furono stramazzati al suolo ; or due soli perirono , gli estremi nella fila. Anche in ciò è evidente l'analogia con le scariche delle nostre batterie.

Secondo De la Rive vi sarebbero degl'individui dotati d'una specie d'immunità dal fulmine, e ciò probabilmente per difetto di conducibilità nel loro corpo. E ne aggiunge in pruova che sovente delle persone trovandosi in una catena composta per iscaricare una bottiglia, non solo restano insensibili alla scossa, ma impediscono il passaggio alla scarica.

Lungi dal sito colpito dalla folgore, ma dentro la sua atmosfera elettrica, si può rimanerne fulminato e morto, senza che apparisca in alto indizio di scarica. È questo il *fulmine di ritorno*, e consiste nella cessazione subitanea dell'influenza elettrica. Narra Brydone che morì d'un colpo un carrettiere nomato Lander una co' suoi cavalli, senza che chi il seguiva avesse veduta folgore o sperimentata commozione: ma un istante dopo fu udito uno scroscio di

tuono, e presso al carro si trovarono tracce evidenti della scarica fulminea, cioè due fori accanto alle ruote di 5 centimetri di diametro con entro le *folgoriti*.

Dopo descritti sì tristi effetti del fulmine sull'economia animale, ci piace accennare, che talora invece agisce qual rimedio salutare fugando affezioni morbose preesistenti, a mo'd'esempio reumatismi, paralisi di membra, amaurosi, e sordità. Infatti racconta Guerard che un giovine muto da tre anni sperimentò un gran movimento ne'muscoli della lingua al balenar d'un lampo seguito da straordinario colpo di tuono, e di presente riacquistò la parola. Sventuratamente son troppo rari sì lieti accidenti non dico per fondarvi speranze di vantaggio, ma per non temerne danni opposti.

318. **Pericoli del fulmine.** Se il timore ragionasse, dice Arago nella sua monografia del fulmine, niuno paventerebbe assistendo a un temporale di 24 ore. Altri per l'opposto àn giudicato che se l'apprensione d'un danno grave e non improbabile costituisce il sentimento del timore, sarà meno da condannare allorchè la minaccia si accompagna con tale un apparato di fenomeni grandiosi, in cui si spiega tutta la possanza della natura, che appena lo scienziato osa interrogarla in quel punto. Resta solo a vedere se il danno è frequente e se v'è modo da cansarlo. Arago e Kaemtz son di avviso che i casi di fulminazione sono oltremodo rari, e anche più gli uccisi sul colpo per modo, che de'varî generi di morte sia questa la meno frequente. De la Rive e Boudin sono di parere opposto, e credono che il numero di 65 morti l'anno per la Francia, 50 per gli stati Uniti, 22 per l'Inghilterra sia assai inferiore al vero e mal fondato sopra statistiche incomplete.

Avvertenze speciali. Poche avvertenze aggiungo dedotte dai fatti e modestamente, nell'intento non già di rimuovere il pericolo del fulmine, sì bene di evitare che divenga più grave per ignoranza o inavvedutezza.

Primamente noterò che il traversare nuvole procellose non è poi un pericolo sì prossimo come altri potrebbe credere: tra i mille esempî ricordo d'essermi trovato una volta sulle vette del Taburno immerso in nembo da temporale; guizzava intorno la folgore da ogni lato, e pure io ne scrivo l'accaduto, e niuno de'sei che erano meco ne provò danno. Non può dirsi il medesimo del raccorsi molta gente insieme, o del ricoverarsi dove sono molti animali riuniti, chè la corrente ascendente di aria calda potrebbe attirarvi la

scarica; e forse per la stessa ragione accade che sono mal sicure le capanne piene di frumento e di foraggi; e però non fa sorpresa il rilevarsi dalle statistiche che gli animali sono più danneggiati degli uomini, probabilmente perchè quelli sono più facilmente ammassati insieme. D' Abbadie racconta che in Etiopia un colpo di fulmine uccise 2000 montoni, mentre non si sa che sieno morti più di 9 uomini in una volta.

Oltremodo pericoloso è ricoverarsi in aperta campagna sotto gli alberi, specialmente se alti e isolati: dei 1308 individui fulminati e morti sul colpo in Francia dal 1835 al 1852, almeno 500 non sarebbero stati colpiti non rifuggiandosi sotto gli alberi.

In generale è bene di non avere sulla persona oggetti di metallo; come pure scostarsi dagli specchi per l'amalgama che li copre, dalla mobilia dorata, dai fili di campanelli e specialmente dai conduttori de'telegrafi elettrici. Franklin raccomanda di non appressarsi ai camini, chè la fuliggine per la sua virtù conduttrice può servire di veicolo al fulmine; e secondo De la Rive il miglior sito sarebbe nel mezzo d'un'ampia stanza lungi dalle mura e dal pavimento, sospendendosi ad esempio a un'amaca o branda americana con cordoni di seta. Ma un tal preservativo è ridicolo e non sicuro in una volta. Poichè sebbene sia vero che chi trovossi isolato, ad esempio vestito di seta, fu talora risparmiato dal fulmine in mezzo agli altri, pure chi non sa che su i corpi isolanti la scarica di rottura, comunque rara, cagiona i più terribili effetti?

Una esatta statistica à dimostrato che non è pericoloso agitar le campane durante i temporali, tranne solo per quei medesimi che le mettono in moto; tra perchè di preferenza le alte torri sono fulminate, e perchè il fulmine può correre lungo la corda di canape inumidita o bagnata. Le croci sulle torri sacre o altri oggetti, specialmente se metallici, alti e isolati, van messi in comunicazione col suolo alla maniera di parafulmini, essendo indubitato che attirano la folgore.

319. **Parafulmine.** Allato di tanti preservativi della folgore inutili o non efficaci, Beniamino Franklin uno ne propose nel 1755, il *parafulmine*, cui la teoria e la esperienza accordano grande virtù di difendere gli edifizi dai danni della folgore.

Sua costruzione. L' Accademia delle Scienze di Francia à pubblicato due istruzioni sul modo di costruire un parafulmine: l'una nel 1823 redatta da Gay-Lussac, l'altra in supplemento alla prima

nel 1854 redatta da Pouillet. Un parafulmine à due parti, *l'asta* e'l *conduttore*. L'*asta* è una grossa verga cilindrica o rettangolare di ferro galvanizzato o di rame, assottigliata dalla base verso l'estremo, di 7 a 9 metri di altezza, di uno o più pezzi uniti a vite e saldati insieme, con in cima una punta di rame dorato o di platino, perchè non si ossidi nè si fonda dalla scarica. Per la medesima ragione la punta non vuol essere molto acuta. Secondo De la Rive un angolo di 30° è il più conveniente, e varrebbe meglio far terminare l'asta con piccolissima sfera di rame dorato.

All'asta si congiunge a vite e si salda il *conduttore*, anch'esso di grosso ferro galvanizzato o di rame, il quale scende lungo l' edifizio. È bene non tocchi nè il tetto nè le mura, ma sia sostenuto da rampi disposti a dati intervalli. Che se trattasi di proteggere depositi di polvere da sparo, il conduttore deve essere raccomandato a piramidi staccate dal fabbricato. Giunto al suolo il conduttore s'introduce a una certa profondità sino ad incontrare o un serbatoio d'acqua perenne, o un terreno molto umido; e per moltiplicare i punti di contatto, e per aggiungere anche di virtù conduttrice, si divide in più rami e si sepellisce nel terreno riempiendo la cavità di brace spenta.

Teoria. È chiaro abbastanza in forza di quali leggi e come agisca un parafulmine. Una punta metallica scarica da lungi un conduttore e senza scoppio. Adunque è duplice l'effetto del parafulmine; cioè attira a distanza la elettricità procellosa, e la costrigne a ridursi all'equilibrio tranquillamente, menandola per mezzo di buoni conduttori a disperdersi nel suolo. Di quì la importanza che il conduttore abbia sufficienti dimensioni per evitare le scariche laterali, come altresì di vigilare che non presenti interruzioni di sorta; altrimenti colà appunto avverrebbe lo scoppio con la serie di danni che vogliamo sfuggire. Di quì pure il vantaggio che si trae dal porre in comunicazione col conduttore delle grandi masse metalliche che s'incontrano nell' edifizio, ad esempio ringhiere, tettoie di zinco, condotti di piombo e somiglianti.

Sfera di attività. Ancor si segue nella pratica intorno alla lunghezza dell'asta una regola suggerita da Charles, la quale sebbene non assoluta non è stata fin qui smentita dal fatto. Si vuole che la sfera di attività d' un parafulmine, o lo spazio preservato, sia una superficie orizzontale avente nel centro l'asta e intorno limitata da una circonferenza, il cui raggio abbia per lunghezza il dop-

pio di quella. Di qui si comprende che per difendere un vasto edifizio (fig. 324) fa-bisogno di parecchie aste in ragione della loro lunghezza e dell'ampiezza di quello: in generale si collocano agli angoli e comunicano fra loro: ma il numero de'conduttori può essere minore del numero delle aste.

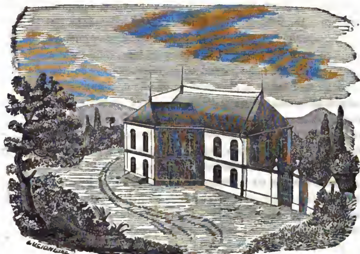


Fig. 324.

Efficacia. Si può affermare senza alcun dubbio che la esperienza à dimostrato il vantaggio arrecato dai parafulmini di preservare gli edifizî, su cui furono eretti, dai danni del fulmine. Sono mille le prove, e distribuite in classi. Molti edifizî erano fulminati frequentemente per l'innanzi: più no'l furono o senza danno dopo che vennero protetti da parafulmini. Vien citata da Arago tra gli altri esempî una Chiesa in Carintia, su cui cadevano sì frequenti i fulmini, che non più vi si celebrarono i divini uffizî: nei casi di straordinari temporali era stata fulminata dieci volte in un giorno. Ma senza ricorrere ad esempi lontani: il cenobio di Montecassino era per l'addietro sì frequentemente visitato dal fulmine, che ne'cortili non v'è base di colonna, non capitello, che non ne sia infranto: nulla più vi si teme dal 1837 allorchè fu munito di parafulmini. Dicasi lo stesso del sublime Santuario di Montevergine dopo la rete di parafulmini collocativi sotto la mia direzione dal meccanico Redaelli. Similmente tra più edifizî ugualmente esposti furono preservati i soli muniti di parafulmine: Harris reca al proposito una

chiesa tra sei nel Devonshire aventi del pari a lato elevate torri. E oppostamente in casi simili i soli edifizi a provare danno furono i non armati di parafulmine: così nel porto di Plymouth cadde la folgore nel 1814, e una sola nave fra tutte fu colpita e danneggiata, la sola senza parafulmine.

In quanto alle navi in corso, è ben naturale che sieno fulminate sovente e per l'altezza degli alberi, e per l'isolamento. Dal 1810 al 1815 furono messi dal fulmine fuori servizio non meno di 35 vascelli di linea della marina di guerra inglese, e 35 legni minori: il danno medio per anno ascendeva a 10000 lire sterline. Or mai più si è deplorato danno di alcuna sorta da che ogni nave à il suo parafulmine. È questa una verga di rame di alcuni decimetri di lunghezza compresa la punta, impiantata alla estremità della freccia sul perrocchetto, e comunicante per mezzo di corda di rame col rivestimento della nave. Harris à ideato un metodo di parafulmini da nave, che non turba per niente le manovre.

320. **Fuochi di S. Elmo, e fuochi lambenti.** Non è da meravigliare che se le scariche della elettricità meteorica avvengono d'una maniera istantanea e tumultuosa mediante la folgore, talora pure si operano tranquillamente per mezzo d'una semplice luce sulle parti sporgenti della terra alla maniera de' fiocchi e delle stelle su i conduttori delle macchine.

Per verità tali apparenze sono più frequenti di quello si crede, e gli antichi storici Plinio, Plutarco, Procopio ne fanno sovente menzione. Cesare nel libro della guerra d'Africa dice, che *in una notte procellosa i ferri de' giavellotti della quinta legione parvero di fuoco;* e Livio narra che il giavellotto di cui Lucio Atreo armò suo figlio *lanciò fiamme senza esserne bruciato*. Gli stessi autori accennano frequenti apparenze di fiammelle in cima agli alberi delle navi, sulle antenne, sul cordame. Anzi è noto che sur un bastimento in mare, o altrimenti sulla terra si tenevano come presagio sinistro o lieto: una sola fiamma, che dicevasi *Elena* o *S. Elmo*, era un segno minaccioso, due fiamme designate co' nomi di *Castore* e *Polluce* predicevano bel tempo e viaggio prospero. Un tale pregiudizio è durato sino ad epoche non remote. Sopra un bastione del castello di Duino nel Friuli eran piantate due picche, e quando sulle loro cime vedevansi accese come due fiamme, co' tocchi d'una campana si annunziava una vicina procella. Similmente nella storia dell'Ammiraglio scritta da suo figlio si legge, che la notte del sab-

bato (ottobre 1493) durante il secondo viaggio di Colombo mentre imperversava una fiera burrasca venne a rallegrare la ciurma S. Elmo sull'albero di perrocchetto con sette torchi accesi, annunziando cessato il pericolo.

Aggiungiamo anche alcuni fatti recenti indubitati. Narra Fynes Moryson che nell'assedio di Kingsale il 23 decembre 1601 le sentinelle vedevano fiamme alle punte delle spade e delle lance. Thielaw il 25 gennaio 1822 andando a Freyberg vide luminose le estremità di tutti gli alberi. E Maradorf nel mezzo d'un campo presso Cöthen il 14 gennaio 1824 sotto una densissima nube vide rizzarsi i fili di paglia e spandere luce brillante. Sul forte Bab-Azoun in Algieri il dì 8 maggio 1831 gli uffiziali francesi videro irti i loro capelli e splendenti di stelle luminose. Ed ultimamente Wartmann di Ginevra dava conto a Quetelet di somiglianti fenomeni accaduti in Isvizzera durante i mesi di giugno, luglio e agosto 1857. Tutto ciò non fa maraviglia, come neppure il sapersi che la neve, la grandine, la pioggia per eccesso di elettricità meteorica divengono luminose.

Dell'istessa natura probabilmente sono i *fuochi lambenti*, e quelle strane fiamme che *diconsi* apparse sopra uomini o sopra animali, ad esempio sul capo di Ascanio e di Servio Tullio, o sul cavallo di Tiberio. Maraviglie poco dissimili raccontansi come avveratesi in esseri privilegiati e cagionate dalla elettricità di strofinio; come la dama del Vallisnieri e la lavandaia di Ledel, le cui mani stropicciate davano sprazzi di luce; e quel gatto singolare di Gordon, dal cui dorso strofinato scoccavano sì vive scintille da accendere lo spirito. In verità la venerazione dovuta a un Nollet, da cui abbiamo tai racconti, m'inclinava ad accoglierli colle parole del Kaemtz (294); e desiderava che ai nostri dì qualche cosa di somigliante si avverasse per sincera voglia di vedere o saperne il vero. Difatti nelle sessioni dell'associazione britannica nel 1857 e dell'americana nel 1858 da Loomis e da Saint-John solerti osservatori furono riferite sperienze eseguite a New-York, che eccedono d'intensità le precedenti e sembrano decisive. In una stanza di casa Cattlin calda a 21°, di cui il pavimento e le pareti erano coverti di velluto, bastava che altri camminasse strisciando i piedi calzati di pantofoli secchi e ben caldi per lanciare scintille di 8 a 10 millimetri, e accendere con esse dell'etere e i becchi del lume a gas.

Un esame accurato è stato più favorevole agli elettrizzati americani che non a madamigella Angelica Cottin. La quale a 14 anni era sì provetta, che nei *saloni* produceva singolari fenomeni di attrazioni e ripulsioni elettriche, e col solo tatto distingueva i poli delle calamite: ma la commissione accademica, cioè un Arago, e con esso Becquerel, Geoffroy-Saint-Hilaire, Babinet, Rayer, e Pariset, dopo accurato esame condannava di mendacio e di furfanteria tutte quelle maraviglie.

321. **Grandine.** Tra le forme, sotto cui si manifesta la procella atmosferica, una è la *grandine*, che mai non cade senza quella, e sovente accompagna i temporali. Ne sono precursori de' cumuli ammassati d'un color grigio oscuro, e fra essi delle nuvole biancastre, con frequenti baleni, e soprattutto un fragore speciale che non è nè del vento nè del tuono.

Struttura e grandezza. V'à chi distingue due specie di grandine: l'una minuta, l'altra maggiore. Ma la prima non è veramente temporalesca: i suoi granelli di 2 a 4 millimetri di diametro sono opachi, sovente vuoti, e bianchi come neve: suol cadere d'inverno o di primavera.

I grani della vera grandine (fig. 325, 1, 2, 3, 4) ànno un nucleo di neve rivestito da un grosso strato di ghiaccio: sovente più strati di neve e di ghiaccio opachi e trasparenti si alternano; e talvolta pure la interna struttura è raggiante attorno al nucleo di neve.

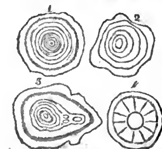


Fig. 325.

In qualche raro caso sostanze estranee àn formato il nucleo della grandine, come de' fili di paglia recata in su dall' impeto del vento, e della cenere vulcanica in Islanda durante una eruzione.

La figura dei ghiacciuoli è varia; ora sferica, ora somigliante a piramide triangolare, o a pera; con varie protuberanze rotondate, specialmente allorchè oltre il nucleo principale ve ne sono altri minori nella parte esterna e trasparente.

La ordinaria grandezza della grandine è di 10 a 15 millimetri di diametro. Ma questo elemento è assai variabile. Giacchè ponendo da un canto le favole dei massi di grandine venuti giù quanto

un elefante e anche maggiori a'tempi di Tippo-Saeb e di Carlo Magno, non sono infrequenti le cadute di grandine di considerevole dimensione. Olmsted afferma che nel nord America cade ogni anno grandine più grossa delle uova di pollo, e 'l 5 ottobre 1831 ne cadde a Costantinopoli della mole di un pugno. Durante la procella che il 13 agosto 1832 recò tanti guasti ai paesi lungo il Reno, la più parte de'ghiacciuoli caduti nel circondario di Geilenkirchen pesavano tra 4 e 8 once; e i più grossi tra quelli, che caddero in Como la notte tra il 19 e 'l 20 agosto nel temporale descritto da Volta, pesavano 9 once; e fin del peso di 4 libbre ne furono raccolti nel temporale, che distrusse tetti e case il 15 luglio 1829 a Cazorta nelle Spagne. Ma in quanto a dimensioni così eccessive convien guardarsi di prendere per granelli semplici i ghiacciuoli agglutinati insieme perchè in parte fusi e poi diacciati di nuovo.

Temperatura. I granelli di grandine in atto di cadere ànno temperatura poco inferiore a quella del gelo: Pouillet l'à trovata compresa tra — 1/2 e — 4°.

Frequenza e distribuzione della grandine. La latitudine non sembra influire sulla frequenza della grandine oltre quanto abbiam detto in trattare de'temporali. Poichè sebbene sia vero che sotto i tropici è rara o nulla, giacchè di fatti è sconoscinta a Cumana, e raccontasi che destò generale sorpresa la grandine caduta una volta alla Martinicca il 1721; purtuttavia ciò si avvera solamente nelle pianure. Che se ci eleviamo 5 a 600 metri, la grandine è frequente colà come altrove, secondo osservarono Humboldt in quel di Caracca, Pentland nel Perù, Heyne a Mysore, Bruce e Ruppel nell'Habesch. Adunque convien dire che manca nelle pianure perchè fondesi prima di giungere al suolo.

Similmente a maggior latitudine la grandine cade con la stessa frequenza ne' siti bassi e sulle alte montagne. Valga per tutte la testimonianza di de Saussure, che l'à incontrata sovente sul Gigante e sul Monte Bianco. E piacemi la opinione di de Charpentier fondata sulle molte osservazioni fatte a Bex, che i goccioloni d'acqua durante i temporali sono ghiacciuoli fusi.

Sonvi però senza dubbio delle regioni, a cui più frequentemente fa oltraggio la grandine per circostanze locali, mentre i paesi vicini ne sono risparmiati. Tra le Alpi è più comune all'apertura delle valli, che non nelle pianure, o alle falde delle più alte montagne, secondo che prima di tutti à avvertito Saussure.

È troppo vera la osservazione di Volta che la grandine propriamente detta cade a preferenza nella stagione più calda, e nelle ore del maggior calore diurno. Ma ciò non esclude che avvenga pure in altre ore, e anche di notte, sebbene rara, o in altre stagioni.

Una limitata estensione di terreno suole essere colpita dalla grandine, la cui caduta non dura che pochi minuti. Che se talora invade una estesa regione, ne occupa sempre una zona assai ristretta in comparazione della lunghezza, secondo cui si protende. Valga per tutti il famoso temporale da grandine del 13 luglio 1788, che da'Pirenei al Baltico percorse la Francia e l'Olanda cagionando un danno di presso a 25 milioni di franchi. Esso occupò due zone quasi parallele dirette entrambe dal sud-owest al nord-est di larghezza l'una due leghe e un quarto, l'altra 3 leghe, sopra una lunghezza di 200 leghe; ed erano separate da una zona di larghezza media di cinque leghe e un quarto, sulla quale cadde solamente copiosa pioggia. La velocità con cui progredì la ruinosa tempesta fu calcolata a circa leghe 16 1/2 l'ora, ma la caduta della grandine non durò in ciascun luogo più di 7 a otto minuti.

Teoriche della grandine. La prima ipotesi abbastanza ragionevole, e tutta elettrica sulla formazione e caduta della grandine fu quella del fisico di Como. Primamente ei dava ragione del freddo necessario all'agghiacciamento del nucleo ne'granelli di grandine mediante la evaporazione prodotta da'raggi solari sull' inviluppo superiore delle nuvole, e favorita così dalla secchezza dell'aria nella sublime regione atmosferica, come dallo stato elettrico delle nuvole. Per tal modo formati i granelli, Volta ne spiegava l'accrescimento successivo, e nello stesso tempo il modo di rimanere a lungo librati tra le nubi, supponendo che al di sotto della nuvola, da cui ebbero origine, ve ne fosse un'altra, dotate entrambe di elettricità opposta. In cadere i ghiacciuoli sulla nuvola inferiore tra pel proprio peso e per ripulsione elettrica, penetrano in essa e si covrono d'uno strato liquido; ma caricandosi nell'istesso tempo di contraria elettricità sono novellamente attratti dalla nuvola superiore, e quello strato si agghiaccia; respinti da essa ricadono nella inferiore, e quei due effetti si ripetono; più volte così van saltellando tra le due nuvole, avverandosi in grande il grazioso esperimento descritto col nome di *grandine elettrica*. In tal guisa van crescendo di mole, e cozzando insieme generano quel fragore, che precede o accompagna la meteora devastatrice; in sino a tanto che o il peso su-

pera la forza che li sostiene, o le opposte elettricità delle nuvole si ricompongono in equilibrio, e vengono giù precipitosi e in massa, specialmente allorchè è istantanea la cessazione delle cariche elettriche; e si avvera difatti, che dopo un fulmine è più abbondante il rovescio di grandine.

Io convengo che gravi difficoltà e ragionevoli si oppongono a sì elegante teoria, che non può ritenersi interamente quale fu proposta dal sommo italiano; ma parecchie altresì di leggieri si solvono, specialmente se quella venga alcun poco modificata. Infatti poco monta che non possa ritenersi bastevole la evaporazione a produrre un freddo così intenso da agghiacciare le gocciole d'acqua; poichè neanco è dimostrato che veramente le nuvole da temporale e da grandine sieno così basse come credeasi, anzi abbiamo accennato avvenire l'opposto. Saranno dunque a tale altezza dove regna la temperatura del gelo. Ognuno poi accorderà volentieri, che durante un temporale la legge del decremento del calore coll'aumento dell'altezza non deve essere la medesima come in tempi calmi e sereni. Omettendo tutte le altre prove in conferma di quanto diciamo, basterà ricordare le osservazioni di temperatura eseguite ne' due voli sublimi alla medesima altezza di 7000 metri da Gay-Lussac, e da Bixio e Barral. Questi videro scendere il termometro niente meno che a—39°, ma si erano innalzati dopo una tempesta; mentre il termometro di Gay-Lussac si arrestò a—9,5, ma la sua ascensione ebbe luogo in giornata di bel tempo.

Inoltre se al presente non saprebbe più sostenersi che le due nuvole sieno come due conduttori elettrizzati con cariche opposte, non so perchè non debba ritenersi come vero che la seconda sia elettrizzata per influenza, mentre nella prima si genera elettrico durante la pioggia o la caduta della grandine minore. E similmente v'è chi opina che le due nuvole, sebbene dotate per influenza di opposte elettricità, non corrono l'una verso l'altra o per la loro tenue massa, o perchè son trattenute da opposta attrazione, nell'istessa guisa che una nuvola non si precipita d'un colpo sul suolo allorchè questo per qualsiasi cagione è elettrizzato oppostamente.

Ad ogni modo Peltier propose una ipotesi che molto si avvicina a quella di Volta, tranne che stabilisce come cagione del raffreddamento necessario alla grandine la evaporazione prodotta per solo raggiamento elettrico. Ma De la Rive mentre suppone ugualmente due strati di nuvole del tutto distinti, i cirri nell'alto, i cumuli

nel basso, elettrizzati contrariamente, vuole però che i fiocchi di neve dei primi fortemente agitati per venti opposti e generanti vortici, si trasformino in minuta grandine a temperatura assai bassa; e i grani di questa in cadere traversando i cumuli si accrescano, ed ora si cangino in grosse gocciole, ora in veri ghiacciuoli: l'agghiacciamento vien favorito dalla irradiazione elettrica, che sarebbe cagione di quel fremito caratteristico. Ei reca in conferma di queste sue vedute la testimonianza di Lecoq, che assistette sul Puy-de-Dome alla formazione d'un temporale da grandine; e vide bene due strati di nuvole, e due opposti venti che li spingevano: i granelli non saltellavano tra i due strati, ma erano spiuti orizzontalmente da vento freddissimo: nè si urtavano fra loro, ma si respingevano mutuamente trasportati insieme da un moto vorticoso.

Paragrandine. Per cessare o diminuire tanti disastri cagionati dalla grandine furono ideati i *paragrandini*, ossia delle lunghe pertiche armate di punta e piantate a diversa distanza nel terreno; dalle quali speravasi che avessero scaricato tranquillamente la elettricità de'temporali da grandine, e con ciò sarebbe impedita la formazione di questa. Ma il fatto à defraudato fin quì l'aspettazione; e aggiungo dimostrar la teoria, che neanco vi si giungerà per tale mezzo, comunque l'ingegnere Long abbia fatto novellamente questa proposta, designando di armare di punta tutt' i pali che sostengono i fili de'telegrafi elettrici, e vi sia stato chi à fatto buon viso al progetto. Imperocchè se la grandine si forma nelle alte regioni dell'atmosfera, in quella dei cirri, o anche in quella dei cumuli più elevati, converrebbe estollersi fin colà co'paragrandini per impedirne la genesi: e difatti Arago avea proposto di spingere colassù nelle nuvole procellose de'palloni armati di punte e comunicanti col suolo per tentare di scaricarle di elettrico, e trasformarle in nuvole inoffensive. Dall'altro lato, supponendo già formata la grandine, il sottrarre elettrico alle nuvole che la trattengono in equilibrio mobile sarebbe un provocarne la repentina caduta secondo abbiam detto, anzi che allontanare il flagello.

322. **Trombe.** Dicesi *tromba* un ammasso di vapori allo stato di densa e fosca nube, la quale animata da un doppio moto di rotazione e di traslazione esercita una forza motrice sorprendente: sfronda e sradica alberi, strappa i tetti degli edifizii, abbatte e lancia in distanza uomini e cose, distrugge o frange tutto che incontra. Le sono compagni un susurro speciale, e fulmini e tuoni, qual-

che volta globi di fuoco; e per costume poi si risolve con un rovescio di pioggia o di grandine.

La tromba presentasi in forma di cono (fig. 326), per l'ordina-

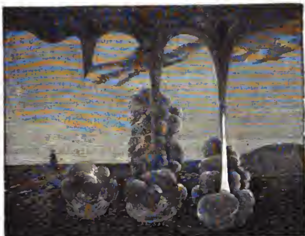


Fig. 326.

rio col vertice in giù, talora disposto inversamente, o come due coni uniti pe'loro vertici, e qualche rara volta è troncata.

In una traversata per Marsiglia all'altezza dell'Elba il 29 settembre 1858 alle 5 di sera ò assistito alla formazione di una tromba: discese prima un cono dalle nubi, poi ne surse un secondo dal mare, e progredirono in corrispondenza per un tratto senza congiungersi: allorchè si unirono sembrò la meteora guadagnare di velocità, ma presto si lanciò sull'isola.

Sono frequenti le trombe sul mare, e riescono funeste alle navi che ne sono incoltè. Ne'mari equatoriali spiegano tutta la loro forza, non già dove soffiano gli alisei, ma nella regione delle calme, e nell'epoca del cangiamento dei monsoni, e più spesso presso terra, e nei mari gremiti d'isole. Il mar cinese fra gli altri è infame per la frequenza e gagliardia delle trombe, dette *tifoni* dal nome del gigante che per Esiodo presiede alle tempeste. La notte fra il 13 e'l 14 agosto 1856 la fregata francese la *Sibilla* in un viaggio scientifico colà trovossi presso a un tifone, e notò che il barometro discese da 754 a 727 millimetri; una grossa nave a tre alberi e una selva di legni minori furon preda delle onde.

Nelle altre latitudini avvengono d'ordinario a cielo procelloso.

Peltier nella sua monografia sulle trombe ne à descritte 137, delle quali à potuto raccorre fedelmente le circostanze. Or fra queste solamente 33 si son presentate mentre l'aria era piuttosto calma, e 10 a cielo sereno.

Comunque il mare si agiti al passar di una tromba e sembri elevarsi, purtuttavolta si crede che anche il cono inferiore sia formato di soli vapori condensati, e non di acqua marina, poichè quella che le trombe versano su i bastimenti è acqua dolce. Se pure non debba ritenersi, che questa è dovuta più veramente alla pioggia in che la tromba si risolve, e non al cono vorticoso che la forma, pel quale avesse potuto passare la nave e rimanerne incolume.

Teorie di Kaemtz e di Peltier. Il Kaemtz opina che le trombe sieno un fenomeno aerodinamico surto dal contrasto di due correnti aeree opposte; e per ciò somigliante a quei turbini d'aria che osserviamo all'appressarsi d'una procella, e sollevano in alto i corpi leggieri, come polveri e foglie, e paglia; o ai vortici che si generano nelle acque allorchè due masse fluiscono l'una presso all'altra con diverse velocità. Se le due correnti ànno temperatura diversa, come d'ordinario accade, vi deve essere copiosa condensazione di vapore, e svolgimento di forte elettricità; d'onde la pioggia, e la grandine, e la folgore. In questa ipotesi dunque i fenomeni elettrici sarebbero un effetto del contrasto fra le correnti, ed il contrasto medesimo la vera cagione delle trombe.

All'opposto Peltier ripone nella elettricità meteorica la origine delle trombe. Egli ammette che quando è stragrande la tensione elettrica delle nubi, esse per attrazione protendansi insino alla terra: i corpi sporgenti su questa le scaricano e si elevano verso la tromba, ricadono pel loro peso e per ripulsione, e poi ne sono attratti di nuovo. Lo strepito delle trombe sarebbe il risultato di tante scariche elettriche parziali; e le burrasche di vento e'l moto vorticoso sarebbero anche un effetto delle attrazioni e ripulsioni elettriche delle masse aeree. Ma comunque il valente fisico sia riuscito a riprodurre tutti gli effetti delle trombe mediante un globo elettrizzato e ora coverto di punte, ora levigato, nella cui sfera di attività à sottoposto vapori e polveri e acqua, purtuttavolta dobbiam confessare che la sua ipotesi non va esente da gravi obbiezioni.

323. *Aurora polare.* Quell'imponente fenomeno, che dicevasi un tempo *aurora* o *luce boreale*, perchè si reputava aver luogo so-

lamente verso le regioni nordiche, ora chiamasi con più verità aurora *polare*, giacchè sappiamo accadere del pari nell'altro emisfero, e pria di tutti ne fecero menzione Frazier e Antonio de Ulloa. Anzi la notte tra il 1 e 'l 2 settembre 1859 si è avvertito un caso di aurora *bipolare*, che secondo Humboldt non dovrebbe essere infrequente; cioè a dire si è mostrata al Chili, e fu descritta da Poey, un' aurora australe notevole pel suo splendore, mentre una somigliante illuminava le regioni settentrionali. Sembra però che veramente al Sud sieno più rare: è poi indubitato che in ambo gli emisferi ne è tanto minore la intensità, quanto più ci allontaniamo dai poli. Quella del 17 Novembre 1848, che pure fu tanto maestosa qui in Napoli, e colmò in me un vuoto che io lamentava da tanti anni,deve ritenersi quale un semplice simulacro delle luci polari.

Fasi del fenomeno. Nunzio di prossima apparizione dell'aurora è l'aspetto grigiastro del cielo presso l'orizzonte a tramontana; il quale man mano diviene più fosco, e si spande come un velo nebbioso che sale fino all'altezza di 8 a 10 gradi, e forma il così detto *segmento oscuro*: la sua tinta passa dal bruno al violetto, ma non è sì denso da non vedervi a traverso le stelle di prima grandezza. La parte visibile della circonferenza, cioè la superiore, apparisce in seguito limitata da una zona splendente prima bianca poi gialla, che sovente si compone di più archi luminosi ; e perchè questo chiarore è più tardo a vedersi , non si può attribuire a un effetto di contrasto l'apparenza del segmento oscuro. Crescendo di ampiezza l'arco luminoso, il suo contorno esterno diventa vago sino ad illuminare tutto il cielo come la luna sorta da una mezz'ora. Sovente persiste più ore dopo il suo pieno svolgimento, e perennemente agitato si alza e si abbassa, si estende ad oriente e ad occidente, si frange or qua or là. Allora ne partono raggi e colonne di luce verde e rossa con la rapidità del baleno , che si dividono in alto, si allargano, si accorciano , e volgonsi ora all' est ora all' ovest componendo una fascia luminosa che à l' aspetto d' nna bandiera agitata dal vento.

Spesso gli sprazzi di luce da ogni punto dell'orizzonte dal nord, dall'est, dall'ovest si elevano fin sulla testa dell'osservatore, e costituiscono come una immensa cupola luminosa, la *corona dell'aurora* (fig. 327).In certi momenti la intensità dello splendore è tale che Lowenoern potè riconoscere il 29 gennaio 1787, presente il sole , i giuochi di luce, e le ondulazioni d'un'aurora boreale.

Dopo ciò il chiarore si affievolisce, dispaiono i colori e le fiamme per gradi o di repente si spegnono. Ultimo a scomparire è il segmento oscuro, e in fine di tutta questa scena non rimane che una nebbia biancastra all'orizzonte.

Altezza. Grandi dispareri àn regnato sull'altezza della *luce po-*



Fig. 327.

lare. Mairan e Dalton opinarono che fosse un fenomeno cosmico; ma non v'à dubbio che sia terrestre, poichè oltre allo svolgersi in seno dell' atmosfera, esso partecipa al moto diurno del globo. Al presente poi si ritiene che le aurore polari scendano fino alla regione delle nuvole; il capitano Franklin sul lago del Grande Orso vide un' aurora illuminare la superficie inferiore di una nuvola, mentre a Kendal pochi miriametri in là non fu visto nulla. Il limite inferiore sarebbe di 1000 metri dalla terra e il superiore di alquanti miriametri; ma Humboldt è di avviso che l'uno e l'altro variano secondo le epoche.

Sua natura elettrica. Molte teorie furon proposte in diversi tempi per ispiegare il fatto dell' aurora polare. Halley volle che fosse dovuta a turbini magnetici traversanti la terra con somma velocità dal nord al sud, i quali divenissero o per se luminosi o pel contatto con le sostanze terrestri. Poi acquistò celebrità la ipotesi di Mairan, che intorno al sole esistesse una materia luminosa tenuissima, e che l'aurora fosse una porzione dell'atmosfera solare in cui s'imbattesse la terra, e la trasportasse seco nello spazio. Ma cadde an-

ch'essa dopo che nel 1740 Celsius e Hiorter scovrirono l'agitazione straordinaria degli aghi calamitati all'apparir della meteora.

Al presente non può non ritenersi di origine elettrica la luce polare. Ne sono argomenti i seguenti fatti.

1. Il punto culminante dell'arco luminoso giace nel meridiano magnetico, e i due punti d'intersezione di quello coll'orizzonte sono a ugnali distanze dal meridiano. Similmente il centro della corona coincide col punto, nel quale il prolungamento dell'ago d'inclinazione andrebbe ad incontrare la volta celeste: e nell'istessa direzione son lanciati i getti di luce.

2. All'apparire dell'aurora gli aghi di declinazione risentono grave perturbazione, che giunge sino a 4 o 5 gradi; e in parte si protende anche colà dove la luce non è visibile.

3. La intensità magnetica del globo soffre pure delle anomalie: cresce poco prima della meteora, poi diminuisce allorchè quella si mostra, e tra 24 ore ritorna al suo grado normale.

4. La elettricità meteorica acquista valida tensione positiva durante la luce polare.

5. Se rimanesse alcun dubbio, dice Walker nel suo manuale, sulla natura elettrica del fenomeno, basterebbe a dissiparlo la influenza che esso esercita sugli aghi de'telegrafi elettrici; ed è tale da prendere le apparenze di una vera *procella magnetica*, secondo la frase di Humboldt. Correnti intermittenti ne percorrono i conduttori, che agitano le sonerie e fan parlare inconseguentemente le macchine, o anche tacere all'intutto attaccandosi le ancore alle elettro-calamite. È notevole che cotesta influenza è più rara sulle linee da Reigate a Douvres, e da Londra a Reigate, la prima delle quali va dall'est all'owest, la seconda dal nord al sud; ed assai più frequente su quella da Ashfort a Ramsgate, che coincide quasi con la linea di uguale intensità magnetica.

Ma comunque ciò sia verissimo e debba ritenersi indubitatamente unica la cagione delle luci elettrica e polare, e che questa consista in fenomeni elettrici luminosi prodotti in aria più o meno rara, non può darsi ugualmente ragione del come si generi e delle circostanze tutte che l'accompagnano. La opinione più probabile è di De la Rive, che la ripone in iscariche elettriche operantisi tra l'atmosfera e la terra nelle regioni polari, da lui bellamente corroborata con la magnifica apparenza di luce generata nel vuoto sotto la influenza d'una elettro-calamita; checchè ne sia della origine della elettricità meteorica, di cui presto ci occuperemo.

321. **Origine della elettricità atmosferica.** Per essere così costante e generale, e nelle diverse circostanze variamente intensa la elettricità meteorica, conviene cercarne la cagione in qualche grande fenomeno che si opera in seno stesso all'atmosfera.

In diversi modi si tentò di risolvere sì importante problema. Volta e poi Saussure giudicarono che la evaporazione alla superficie della terra fosse la cagione unica della elettricità atmosferica. Ma le sperienze di Pouillet e di Peltier (76,4) la fecero credere insufficiente. Allora Pouillet ne sostituì altre due, cioè la evaporazione sul mare, d'onde sollevandosi i vapori si separano dalle sostanze saline, e le azioni della vegetazione sulla terra: ma è provato dai fatti quest'ultima essere nulla o debolissima. Peltier poi ideò due stati elettrici opposti e primigenii, positivo nella terra, negativo negli spazii avviluppanti il globo al di sopra dell'atmosfera; dalla scambievole reazione delle due cariche opposte sarebber prodotti i fenomeni elettrici dell'atmosfera. Queste idee però non àn fondamento, e stabiliscono di carica non d'influenza la elettricità della terra contro ciò che è conforme a tutte le esperienze.

Becquerel fondandosi sugli effetti elettrici prodotti dal calore allorchè inegualmente propagasi ne'metalli, attribuisce la elettricità meteorica al decremento di temperatura negli strati atmosferici coll'aumento delle altezze. Ma chi non conosce che non si avverano fenomeni termo-elettrici nei liquidi, e molto meno negli aeriformi? Schoenbein poi la fa provenire ugualmente dai raggi solari, ma per virtù chimica non termica, in quanto l'ossigeno dell'aria sotto la influenza dei raggi solari opera elettro-chimicamente sulle molecole d'acqua componenti le nuvole, donde una polarizzazione elettrica, una tensione.

De la Rive ripone questa sorgente di elettricità nelle continue azioni chimiche, che debbono aver luogo nella superficie interna della corteccia solida terrestre colà, dov'è il limite tra la porzione già solidificata, e la inferiore e centrale ancor fusa; e si sforza di elegantemente dedurne tutt'i fatti di elettricità meteorica.

Finalmente Kaemtz ne assegna una cagione complessa, e vuole che fatti diversi influiscano a un tempo con diversa intensità; val quanto dire l'attrito delle masse d'aria fra loro e con la superficie terrestre, la combustione, le vegetazione, e innanzi ogni altro la evaporazione.

In quanto a me senza tener dietro a ipotesi speciose, e senza

crearne di altre, non so vedere più acconcia maniera da spiegare un fatto tanto solenne dell'elettrico così a cielo sereno come nelle tante guise di precipitazioni atmosferiche, di quella che naturalmente ci si presenta ricorrendo ai fatti stessi. A cielo sereno la evaporazione è copiosa: e per converso abbiamo precipitazione di vapore nella rugiada, nella formazione delle nuvole, nella pioggia. Adunque l'uno e l'altro di questi fatti è cagione parziale della elettricità meteorica. Nè dee sorprendere che due opposti fenomeni producano lo stesso effetto: chè ne abbiamo esempii a dovizia nella teoria degl'imponderabili; basterà quì accennare solamente che svolgono del pari calore ed elettrico così le analisi che le sintesi. La evaporazione è una cagione universale, potente, innegabile: poco monta poi che si consideri isolata alla maniera del fisico di Como e di quel di Ginevra, o dipendente dalle azioni chimiche secondo Pouillet, o come piacerebbe a Becquerel in relazione con le scomposizioni organiche operate dalle acque sul suolo. La intensità di questa forza però non sarebbe in ragione della quantità assoluta di vapore sollevatosi, sibbene del grado di umidità relativa. Converrebbe poi negare tutt' i fatti che abbiamo esposti sin quì, per non riconoscere del pari una cagione dell' elettricità atmosferica, anzi la più potente, nelle varie forme di precipitazione del vapore invisibile.

FENOMENI OTTICI

325. **Trasparenza dell'atmosfera.** L'atmosfera è *diafana* in sommo grado. E però attraverso di essa allorchè è sgombra di vapori vediam chiaramente gli oggetti comunque lontani, purchè di tale grandezza che l'angolo visuale non si renda infinitesimo con la distanza: le montagne infatti non cessano di essere visibili se non quando ascondonsi sotto l'orizzonte. Purtuttavolta neanco è assoluta la sua trasparenza, ed essa assorbe più o meno di raggi luminosi secondo la copia de' vapori visibili. Di quì il cielo all'orizzonte si vede povero di stelle, e ne apparisce gremito allo zenit.

Per definire il grado di diafaneità dell'aria ed esprimerla con numeri, de Saussure imaginò il *diafanometro* fondato sul fatto che oggetti di diversa grandezza, ed ugualmente illuminati scompaiono a distanze, le quali non sono esattamente nella ragione de'lo-

ro diametri, come dovrebbe accadere in funzione del solo angolo visuale. L'istrumento si compone di due superficie bianche, con sopra due cerchi neri, i cui diametri sono come 1: 12. Si scosti la prima così che più non si vegga il cerchio minore, e se ne misuri la distanza. Il secondo dovrebbe scomparire a distanza 12 volte maggiore ; e in vece in una delle esperienze la ragione tra le distanze fu di 1: 11, 427. Una porzione dunque di luce venne assorbita o dispersa dall'aria, e può dedursi da quei numeri.

Perchè sieno esatte le deduzioni di coteste esperienze , gli oggetti oltre d' essere ugualmente illuminati, debbono trovarsi con esattezza nelle medesime condizioni; poichè specialmente il contrasto di luce cogli oggetti circostanti influisce ad accrescere la distanza a cui si rendono invisibili. Dalle pianure svizzere ne' dì sereni ò distinto sempre assai ben contornate le cime delle Alpi sul fondo azzurro del Cielo: e per l'opposto da queste vette mal si discernono i villaggi e le città nelle pianure per mancanza di contrasto.

326. **Colore dell' aria.** La virtù dell'aria di trasmettere solo parzialmente i raggi di luce che la traversano , non segue la sola ragione di quantità , ma anche l' altra di qualità : è *colorata* cioè, e doppiamente: *azzurra* per diffusione, *rossa* per trasmissione, in quanto si lascia traversare a preferenza dai raggi rossi , e diffonde o riflette gli azzurri. Se tutt' i raggi fossero trasmessi ugualmente per l'aria, la luce diretta del sole e la riflessa dagli oggetti terrestri ci colpirebbe di tutta sua forza , e sempre bianca : per converso il cielo ci sembrerebbe nero. Ma noi vediam temperata quella prima luce, e di varia tinta,e azzurra la volta celeste.

Intorno a ciò si rifletta che il colore dei mezzi diafani è tanto più carico, quanto è maggiore la loro spessezza. Laonde la quantità relativa di luce rossa trasmessa per l'atmosfera sarà in ragione della obbliquità de'raggi alla superficie terrestre : di qui *rosea* l'aurora, e *rosso* il sole all'orizzonte. Una esperienza diretta di Hassenfratz, il quale à analizzato mediante il prisma la luce che proviene dal sole alle varie altezze sull'orizzonte, à dimostrato, che difatti quanto il sole è più basso tanto più scarsi sono i raggi dotati di maggiore rifrangibilità. Nè si oppone a cotesta teoria il fenomeno delle *ombre colorate*, il quale invece ne è una conseguenza, e la conferma. Il colore dell'ombra dev'essere l'effetto dell'annullamento delle tinte comuni, o il risultato delle tinte differenziali. Poniamo dunque

che il sole sia color rosso ranciato, e biancastra la luce del cielo illuminante il terreno su cui proiettansi le ombre; queste si vedranno colore azzurro misto più o meno di verde o di violetto, che è il residuo del bianco togliendone il rosso-ranciato.

L'azzurro poi del cielo presenta diverse gradazioni di tinta, potendo esser misto di bianco e di nero: il bianco è dovuto alla riflessione prodotta dalle particelle acquee sospese nell'aria in forma di nuvole o di neve, il nero è la mancanza di luce degli spazi planetari. Di qui la spiegazione de' seguenti fatti. L'azzurro più carico si à quando il cielo è sgombro di vapori, e nelle parti del firmamento abbastanza lontane dal sole. Nell'interno de' continenti è sempre più bello che sul mare. È anche più vivo nelle regioni tropicali che a maggior latitudine; poichè l'aria colà è sì pura che frequentemente vi si vede Venere in pieno giorno, e ciò fra noi è sì raro da destare alte maraviglie. All'orizzonte poi l'atmosfera d'ordinario è biancastra; e sulle alte montagne o nelle ascensioni aerostatiche il cielo sembra oscuro, anzi nero. Nello scopo di rappresentare il diverso grado di azzurro dell'atmosfera Saussure ideò il *cianometro*, il quale consiste in una scala di 51 gradazioni di tinte azzurre intermedie fra il bianco e 'l nero estremi: il corrispondente numero designa il colore dell'aria secondo le circostanze.

327. **Crepuscolo.** È la luce, di che splende l'atmosfera o prima che il sole si levi dall'orizzonte, o dopo il suo tramonto, e si distingue in *matutino* e *serotino*. Ne è cagione il venir sulla terra i raggi luminosi dell'astro ancor sotto l'orizzonte riflessi dalle molecole d'aria: per che noi passiamo gradatamente dalle fitte tenebre della notte al pieno giorno, e al cadere di questo ritorniamo insensibilmente alla notte.

Circostanze che l'accompagnano. Le apparenze del crepuscolo sono diverse secondo le condizioni dell'atmosfera. Se questa è carica di vapori, e di giorno fu biancastro il colore del cielo, si arrossa meno durante il crepuscolo: la sua tinta poi à del giallo allorchè nel giorno à dominato l'azzurro carico; e tende al verde, che talora è vivace assai, se nell'aria sonvi delle nuvole leggiere.

Le più alte cime delle montagne ad oriente, specialmente le rocce nude e i grossi tronchi di alberi isolati presentano subito dopo il tramonto de' cangiamenti di tinte gradevolissimi. Predomina il rosso, e di tinta man mano più oscura, che poi svanisce per occultamento cagionato dall'ombra della terra. È espressivo il nome che si dà in

Isvizzera al fenomeno: *ferro rovente delle Alpi*. Le ghiacciaie nello stesso caso si colorano di grigio-azzurro. Talora l'oriente si arrossa una seconda volta pei raggi rossi riflessi dall'atmosfera.

Disceso il sole sotto l'orizzonte comparisce sul cielo ad oriente un segmento oscuro azzurro circondato da un arco, in cui persiste il rosso. Mairan, che fu primo a notarlo, il chiamò *crepuscolo secondario*: è prodotto dall'ombra della terra proiettata sull'atmosfera. Ultimo a scomparire è il *chiarore crepuscolare* di Brandes, un segmento rosso a ponente e sovr'esso un arco bianco: vien cagionato dal riflesso dell'atmosfera, che riceve e tramanda gli ultimi raggi quando già l'ombra della terra à oltrepassato lo zenit.

Durata del crepuscolo. Si reputa finito il crepuscolo coll'apparizione delle stelle di 6ª grandezza; e gli astronomi ritengono che ciò avvenga quando il sole è a distanza di 18° sotto l'orizzonte, perchè allora non manda più raggi sensibili sulla terra. La durata dev'esser variabile, ed è funzione de'seguenti elementi:

1. *Altezza dell'atmosfera*. Quanto più alti fossero gli strati atmosferici, da tanto maggiore distanza sotto l'orizzonte potrebbero partire i raggi solari e venir sulla terra riflessi dalle particelle aeree. Di questa relazione Biot si valse per trarne un metodo a misurare il confine dell'atmosfera: ma i risultamenti sono variabili e poco conformi al vero.

2. *Latitudine e stagioni*. Poichè all'equatore il sole si muove in un piano verticale, e coll'aumento di latitudine diminuisce l'angolo che il piano del suo moto diurno fa coll'orizzonte, la durata del crepuscolo sarà minima all'equatore, e crescerà dall'equatore al polo; poichè la distanza di 18° corrisponderà ad un arco tanto più lungo, quanto più elevata è la latitudine del luogo. Per la medesima ragione alla stessa latitudine sarà minore di està che d'inverno.

3. *Stato dell'atmosfera*. Sulle particelle di vapore più copiosa è la riflessione della luce, che non su quelle di aria, le quali riflettono i soli raggi azzurri. Laonde resta protratto il crepuscolo in ragione della copia di vapori. Questa cagione or si oppone alla precedente, ed ora cospira con essa. Ad esempio si accordano entrambe a fare che in Cumana il crepuscolo duri pochi minuti, nel Chili un quarto d'ora; ed esse pure il protraggono fino a 2 ore nel Groenland.

Prognostici crepuscolari. Dalla tinta del crepuscolo suole trarsi argomento abbastanza sicuro per presagire un tempo buono o cattivo. Se con cielo azzurro il crepuscolo di sera si colora in rosso con

raro vapore all'orizzonte, si à indizio di serenità durevole; e si teme l'opposto allorchè il sole bianco anzichè giallo si asconde entro un denso velo. Per converso l'aurora accenna prossima pioggia se rossa, e se grigia prenunzia il dì sereno. La cagione della differenza è riposta in ciò, che i vapori ingombranti il cielo di sera piuttosto si accrescono e si addensano durante la notte, mentre quelli che appariscono sul mattino vengono dissipati con sole alquanto alto.

328. **Rifrazione atmosferica.** Perchè la densità degli strati atmosferici diminuisce coll'aumento d'altezza, e la virtù rifrangente d'un medesimo aeriforme cresce con la sua densità, ne consegue che un raggio di luce diretto da un astro sulla terra soffre una serie di rifrazioni accostandosi sempre più alla normale. Il suo camino dunque non è rettilineo, ma descrive una curva, la quale è varia secondo l'altezza dell'astro sull'orizzonte. Se questo è allo zenit la rifrazione è nulla, perchè i raggi penetrano perpendicolarmente alle superficie di separazione di tutti gli strati aerei: se trovasi all'orizzonte è massima, giugnendo fino a 30′. Di qui si comprende che gli astri non veggonsi nella loro vera posizione, ma alquanto più elevati specialmente all'orizzonte. Ad esempio essendo il sole S (fig. 328)



Fig. 328.

col suo lembo superiore a contatto dell'orizzonte HH, un osservatore in A il vedrà col lembo inferiore tangente l'orizzonte, appunto perchè di 30′ è il suo diametro apparente.

329. **Scintillazione degli astri.** Quel tremolio che vediamo nelle stelle, le quali sembrano abbandonare per un istante il loro posto e ritornarvi, e splendono con diversa intensità di luce, e

sovente con vario colore, costituisce il fenomeno della *scintillazione*. Ne è cagione, secondo che Hooke dimostrò innanzi ogni altro, la presenza delle correnti aeree di varia densità, per le quali il raggio rifratto cangia di sito, e quello che perviene all'occhio dell'osservatore prolungato corrisponde a diversi punti della volta celeste, e colà vi proietta oscillante la imagine dell'astro.

Questo spostamento angolare non oltrepassa qualche secondo, e però è sensibile nelle stelle fisse, che per la immensa distanza sono come punti splendenti nel firmamento; non già nei pianeti, il cui diametro apparente è di 30 a 40′: in questi si ravvisa il solo orlo tremolante, ma il centro è immobile. Si comprende poi dover essere il fenomeno più spiccato all'orizzonte.chè gli strati atmosferici prossimi alla terra sono più soggetti a variazioni di densità. Deve altresì variare con le condizioni locali; infatti fra i tropici è debole, e nella stagione secca vi si osserva solo all'orizzonte; a maggior latitudine si accompagna con venti forti nelle regioni superiori dell'atmosfera, e quando è sensibile oltre il consueto suol ritenersi come indizio di tempesta.

Ci persuaderemo dell'aggiustatezza di tale spiegazione osservando,che se i raggi inviatici da un oggetto si fan passare quasi tangenti una lamina metallica fortemente riscaldata, o carboni accesi, o anche i tetti colpiti da un sole ardente, quell'oggetto apparirà tremolante per la corrente ascendente di aria calda.

Del cangiamento poi di chiarezza e di colore nell'astro non si dà ragione altrimenti che con Arago mediante le leggi delle interferenze dei raggi tra le molecole vaporose.

330. **Iride o arcobaleno.** Volgendo le spalle al sole, e guardando una nuvola, che ne è colpita dai raggi in atto di risolversi in pioggia, si gode sovente lo spettacolo dell'*iride* o dell' *arcobaleno* (fig. 329). Esso consiste in un grande arco di cerchio con la concavità verso terra: è formato di zone colorate colle tinte dello spettro aventi il rosso all' esterno, il violetto all'interno, e dicesi *arcobaleno primario*. Il più delle volte se ne vede un secondo chiamato *secondario*, esterno al primo,con i colori disposti inversamente e assai più sbiaditi. Molto di rado se ne vede anco un terzo.

La vivacità de'colori dipende dalla intensità della luce incidente; e può proiettarsi ugualmente sulle nuvole, sul fondo azzurro del cielo, sugli oggetti terrestri: talora si scosta appena pochi metri dall'osservatore. Anche la luna genera un simile arco, ma bianco o giallastro, e senza colori spiccati.

Sua teoria. Adequatamente fu spiegata da Newton la formazione dell'iride colle successive rifrazioni e riflessioni de'raggi sulle gocciole di pioggia. Per vederne il come, si collochi in prima in una ca-



Fig. 329.

mera oscura un recipiente cilindrico di cristallo (fig. 330) pieno di acqua renduta alquanto torbida con un pizzico di sostanza poco solubile. Obbliquamente alla sua superficie, ma in un piano orizzontale, sia colpito da un pennello luminoso, che penetra per un foro *o* fatto nella imposta *vv'*. Or se guardisi dalla base superiore del cilindro, si vedrà il camino e ogni fase del pennello incidente; ossia dopo una rifrazione in *i* si scovrirà



Fig. 330.

una serie di riflessioni interne successive nei punti *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, nelle quali il pennello va perdendo di forza, poichè si accompagnano con altrettante rifrazioni secondo *aa'*, *bb'*, *cc'*, *dd'*, *ee'*: che se ricevasi sopra un fondo bianco uno qualunque de'fasci emergenti *aa'*, esso vi dipingerà un piccolo spettro.

Quel che avviene nel cilindro accadrà del pari nelle gocce di pioggia colpite da' raggi solari, poichè questi non debbono lasciare il piano del cerchio massimo della prima incidenza per la legge comune alla riflessione e alla rifrazione. Esaminiamo dunque il risultamento di una prima riflessione in *b* (fig. 331) e di una seconda ri-

frazione in *c* entro una gocciola, di cui *o* è il centro. Se prolunghiamo i raggi incidenti *sa* e gli emergenti *ce*, il loro incontro sarà per la simmetria della goccia in un punto *t* nel prolungamento del raggio *ob*. L'angolo *atc*, che quelle direzioni contengono, sarà la loro *deviazione*. E poichè questa è diversa pe' diversi elementi dello spettro solare, e molto più se varia l'angolo d'incidenza nel punto *a*, ne consegue che i raggi emergenti *ce*, *ce'*, *ce''*, saran divergenti, e affievolendosi con la distanza non potranno produrre impressione sensibile sulla retina dell' osservatore. Il calcolo però dimostra, che per una determinata condizione d'incidenza la deviazione è capace di un valore *massimo:* allora dunque i raggi emergenti saranno paralleli, e perciò *efficaci*. Ma le incidenze non sono le medesime pei diversi raggi elementari, richiedendosi l' angolo di 59°,23',30' pei raggi rossi, e quello di 58° pe'raggi violetti: le corrispondenti deviazioni massime sono 42°, 1', 40'' e 40°, 17.



Fig. 331.

Sia dunque *sb* (fig. 332) un raggio, che venendo dal centro del sole colpisce una goccia di pioggia, e dopo una sola riflessione in *b* produce la deviazione massima nel raggio rosso: l'osservatore sito in *o* vedrà secondo *oc* un punto rosso. Che se tirisi *oh* parallela a *sb*, e s' intenda girare *ot* intorno a *oh* conservando costante l' angolo *coh* =42°,1',40'', tutte le gocce di pioggia, che si trovano in questa circonferenza, invieranno all' occhio un pennello di raggi rossi, ed esso vedrà un arco rosso, il cui centro è sulla retta che unisce l'occhio e 'l centro del sole. Ripetendo per ciascun punto del disco solare quel che abbiam detto del

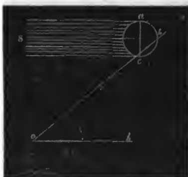


Fig. 332.

suo centro, all' osservatore dovrà presentarsi una zona circolare rossa di ampiezza eguale al dismetro appsrente del sole, cioè di circa 30′.

Se ugualmente volgasi intorno a *ho* la retta *ot* sotto l'angolo di 40°,17, deviazione massima de'raggi violetti, avrem la genesi dell'arco violetto interno al rosso, e costituente pure una zona di 30′. Fra queste due zone estreme sono allogate per ordine quelle de'colori intermedii; e poichè la differenza angolare fra gli archi estremi è solamente 2°,14′,40″, mentre essendo ciascuna zona di 30′ dovrebbero occupare un'ampiezza di 3°,30′, i loro orli in parte si sovrappongono, donde la parziale fusione delle tinte che si osserva nell'iride.

Tutto ciò relativamente all'iride primaria. In quanto alla secondaria, il calcolo dimostra che per un pennello emergente dopo due riflessioni, la deviazione mssima che dà raggi violetti efficaci è 54°,9′ sotto la incidenza 71°,26′, e pei raggi rossi 50°,58′ con incidenza di 71°,50′. Ripetendo dunque il detto dianzi, s'intenderà la genesi dell'iride secondaria e le sue circostanze: che cioè i suoi colori son disposti inversamente, che la sua ampiezza è 3°,11′, e che la distanza interna fra la primaria e la secondaria è di circa 9°.

La porzione visibile dell'iride è diversa secondo le posizioni del sole e dell'osservatore. È un semicerchio se entrambi sono all'orizzonte: a misura che il sole è più alto, si abbassa l'asse della visione, che è pure l'asse del cono formato dai raggi efficaci, e l'arco scema: sparisce l'arco interno se l'altezza del sole è 42°, e se giunge a 54° sparisce anche l'esterno. Se l'osservatore fosse in sito eminente e il sole all'orizzonte, potrebbe l'iride aver forma di circonferenza intera. Non occorre poi notare come l'iride non cangi di posto non ostante la caduta della pioggia, perchè alle gocciole cadenti ne succedono altre, e l'effetto è come se quelle rimanessero immobili.

331. **Miraggio e fata morgana.** Si dà nome di *miraggio* al fenomeno, nel quale per riflessione aerea si veggono variamente raddoppiati gli oggetti terrestri. Esso accade quando passando i raggi da uno strato aereo all'altro di densità diversa incontrano la superficie che li divide sotto un angolo maggiore dell'angolo limite: non vi sarà allora rifrazione, ma riflessione totale. E perchè vengono altresì all'occhio i raggi diretti, questo vedrà insieme l'oggetto e la sua imagine riflessa. Se la superficie di separazione è piana, il che suppone straordinaria calma nell'atmosfera, la imagine ssrà simile

e uguale all'oggetto: se la superficie è curva o irregolare si produrrà una imagine disuguale o sfigurata: sovente pure la imagine è multipla allorchè sono molte le riflessioni.

Fra noi à rinomanza un somigliante fenomeno, che succede tra le opposte rive di Reggio e Messina, sotto il nome di *fata morgana* o *morgagna*, la quale riputavasi valente ad elevare in alto città e castella col tocco di verga. Poco esatte descrizioni e antiche noi ne abbiamo, e mal se ne conosce la cagione. Ma pare che presentisi in diversi modi per quanto ò potuto raccorne nelle dieci volte che sono stato colà, senza aver mai la sorte di esserne spettatore.

Si distinguono tre maniere di miraggio: *inferiore*, *superiore*, e *laterale*.

Il *miraggio inferiore* (fig. 333) è frequente nelle pianure forte-



Fig. 333.

mente riscaldate a qualunque latitudine. Kaemtz lo à osservato sovente in Germania e sulle coste del Baltico; ma l'effetto è completo in Asia, in Africa, e specialmente in Egitto. Il suolo del basso Egitto è piano sparso di colline poco elevate, su cui son piantati i villaggi. Allorchè un sole cocente riscalda quell' arido terreno, lo strato d'aria che il tocca diviene più caldo e più raro dello strato superiore, e così gradatamente. I raggi dunque venendo dai diversi oggetti all'occhio si curvano con la convessità verso il basso; e però se da un'altura si guarda il paesaggio, la pianura offre l'apparenza d'un mare o d'un lago, in cui si riflettono bellamente le imagini delle colline e delle borgate; e le stesse nuvole vi si veg-

gono fluttuare. Antichissima è la conoscenza del fatto, e ve n'è menzione nel *Corano*, che il chiama espressivamente *serab*, cioè *inganno*, *illusione*. Della quale illusione fè trista pruova l'armata francese del 98 quando assetata si vedeva perennemente innanzi un mare d'acqua, che al suo appressare fuggiva. Monge, che seguì la sventurata spedizione, fu il primo a spiegare il fenomeno per mezzo della riflessione totale; e Wollaston il riprodusse in piccolo sopra una lamina metallica riscaldata, e mediante due liquidi diversamente rifrangenti. Il Bravais à dimostrato che può avvenire anche per rifrazione.

Miraggio superiore. Se il suolo è più freddo dell'aria sovrastante avverrà il fenomeno inverso, e potran vedersi in alto le imagini simmetriche degli oggetti terrestri. Scoresby nelle acque di Groenlandia ne è stato testimone parecchie volte, e racconta di aver veduto sulle navi in distanza le imagini capovolte ora toccantisi coll'oggetto e fedelissime, ora staccate da essi e più piccole, ora stranamente sfigurate, e non rare volte anche multiple. Una fra le altre vide in aria la imagine di una nave distante 30 miglia, cioè 17 miglia al di sotto dell'orizzonte, e fissatala con cannocchiale potè nettamente distinguervi la persona di suo padre.

Miraggio laterale. Allorchè due falde aeree di diversa densità son separate da un piano verticale, potrà aversi la riflessione, e'l miraggio *laterale*.

Soret e Iurine nel settembre 1818 videro per miraggio laterale sul lago di Ginevra una nave con la sua imagine allato (fig. 334) alla distanza di circa due leghe: ed io nell'agosto del 55 fui testimone d'uno spettacolo assai più maraviglioso nella nostra rada, e il descrissi nel giornale uffiziale di quell'epoca: tutta la costa della città sino all'opifizio di Petrarsa si riprodusse dall'altro lato sul mare, e ogni barca avea la compagna simmetrica e quasi del pari illuminata. Ebbi come accertarmi che in quella circostanza l'aria sulla terra era più calda che sul mare alla medesima altezza; e debbo saperne grado al capitano della Real Marina R. Corsi che mi comunicò le osservazioni da lui fatte a bordo.

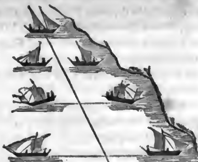


Fig. 334.

332. **Corone e aloni.** Con questi due nomi vengono designati molti fenomeni luminosi, che veggonsi intorno agli astri per modificazioni sofferte dai raggi imbattendosi nei vapori atmosferici.

Dicesi *corona* o *piccolo alone* quel cerchio luminoso del diametro di pochi gradi, che cinge il sole o la luna quando il cielo è leggermente nebbioso: sovente è colorato o è formato di più cerchi concentrici di tinte diverse. À relazione con esso l'*antelio* di Kaemtz osservato la prima volta da Bouguer sulle Ande, cioè l'apparenza di quegli anelli colorati, che formansi intorno alla testa dell'osservatore nell'ombra proiettata sopra una nuvola: fenomeno conosciutissimo nelle Alpi e dettovi *figura nebbiosa*, o anche *spettro di Brocken* sul monte di tal nome. Fu veduto sovente da Scoresby nei mari polari: se v'è insieme nebbia fin sulle acque e splende il sole, basta che altri ascenda sulla gabbia dell'albero maestro, cioè all'altezza di 20 a 30 metri per vedere nella nebbia la sua ombra circondata da 1 a 5 cerchi colorati. La opinione più probabile intorno a questi fatti è quella di Fraünhofer, che gli attribuisce a diffrazione tra le particelle di nebbia o delle nuvole.

Gli *aloni* propriamente detti, o i *grandi aloni*, sono cerchi colorati del diametro quasi costante di 44°, e talora d'un diametro doppio. Perchè si formino è necessaria la presenza dei cirri, mentre le corone si veggono coi cumuli; anzi è evidente che sono effetto di rifrazione, poichè quando appariscono iridati, il rosso è all'interno, il violetto all'esterno, cioè il contrario di quel che accade nelle corone. Mariotte il primo li derivò da rifrazione nelle particelle di ghiaccio, di che si compongono i cirri, le quali talvolta come punti lucidi si veggono svolazzare nell'aria. E Arago paragonando in un piano verticale due fasci di luce provenienti uno dall'alone, l'altro riflesso da un piano orizzontale, gli à trovati polarizzati in due piani perpendicolari fra loro.

Brandes oltre i cerchi che ànno per centro l'astro, ne distingue degli altri che toccano i primi, e anche di quelli che passano per esso. Colà dove s'intersecano appariscono i *parelii* e le *paraselene*.

333. **Stelle filanti, bolidi, aeroliti.** Quei punti luminosi, che pari a una stella in corso rapidamente segnano una striscia curva di luce variopinta sul cielo sereno, si chiamano *stelle filanti* o *cadenti*. Più raramente si veggono de'globi di fuoco detti *bolidi*, anche di giorno perchè assai più splendenti, e lanciano fiamme e fumo, e sovente scoppiano con fragore, e producono incendii secondo il narrato da Petit all'Istituto di Francia nel 1858.

L'*altezza* delle stelle filanti oscilla per Humboldt fra 3 e 26 miriametri; e la loro *velocità* è di 4 1/2 a 9 miglia per 1". La loro apparizione non segue legge certa per le diverse stagioni; ma si sono pure scoverti diversi *periodi* di straordinaria frequenza. I più conosciuti sono il 10 agosto, distinto col nome di *pioggia* o di *lagrime di S. Lorenzo*; viene poi quello del 12 al 14 novembre; e secondo Humboldt ve ne sono altri quattro: 22—25 aprile, 17—26 luglio, 27—29 novembre, 6—12 decembre.

La figura esterna degli aeroliti è quasi per tutti la stessa: una crosta nera di pochi decimi di millim. e una massa color grigio chiaro: la forma in tutti è frammentaria. Secondo le analisi di Berzelius vi si contengono i corpi seguenti; ossigeno, idrogeno, solfo, fosforo, carbonio, silicio, cromo, potassio, sodio, calcio, magnesio, allumínio, ferro, manganese, nichelio, cobalto, rame e stagno; ma combinati in proporzioni assai diverse.

Talvolta i frammenti sono piccolissimi, sovente ànno dimensioni smisurate. Grandi masse rinvenute sulla terra quasi sempre di puro ferro si reputano anche immensi aeroliti, e son chiamate *pietre meteoriche, ferro meteorico*. Si è stimato che la più grande fosse quella scoverta da Pallas in Siberia nel 1771 del peso di 700 chilogrammi. Ma indubitatamente maggiore fu quella che dicesi caduta con orribile fragore nel luglio 1859 nella contea di Oswego (New-York), i cui frammenti si sparsero a distanza di 1000 metri, e 'l maggiore comunque immerso in parte nel suolo si elevava sovr'esso da 20 a 80 metri.

Teoria. Dopo che Cladni provò la identità delle stelle cadenti e dei bolidi, diverse ipotesi furon proposte per definirne la origine. Non potea aver seguaci la opinione, che volle *lanciati gli aeroliti dai vulcani terrestri*, i cui prodotti nulla àn di comune con quelli. L'italiano Paolo Maria Terzago propose la ipotesi che *fosser lanciati dalla luna* convalidata poi dai calcoli di Laplace; la quale, al credere di Humboldt, non è già assurda, come altri vorrebbe, ma rende il fatto *dipendente da tante circostanze che solo a caso potrebbero avverarsi*. Assai minor favore merita la *ipotesi atmosferica*, che non saprebbe spiegare o la esistenza di quelli elementi nell'aria, o la maniera di loro combinazione. Per l'opposto la velocità degli aeroliti affatto planetaria, e la costante loro direzione in verso opposto al moto della terra, e specialmente le loro ricorrenze, ci fan credere che le stelle filanti e i bolidi sieno de' piccoli asteroidi, e forse fram-

menti di un pianeta maggiore, che girano come i pianeti intorno al sole in traiettorie coniche, e soggetti ugualmente alle leggi della gravitazione universale; i quali diventano luminosi in penetrare nell'atmosfera per azione meccanica, o chimica o elettrica; e cadono sulla terra se l'attrazione terrestre è preponderante, o seguono a rivolgersi nelle loro orbite con qualche perturbazione.


Fig. 335.

334. Luce problematica. Indico con tal nome qualche rara apparenza di luce di origine affatto ignota. Sabine e Ross nelle acque del Groenland s'imbattettero in fenomeno di tal sorta. Una notte oscurissima, ma non procellosa, apparve sul mare di rincontro alla prua una viva luce (fig. 335). La rotta non fu cangiata per non esservi pericolo in quei paraggi: e allorchè la nave penetrò nello spazio illuminato furon viste distintamente tutte le parti di quella; la meteora si estendeva circa 400 metri. La nave in uscirne passò di un colpo al buio perfetto, ma la regione luminosa continuò lunga pezza a vedersi in distanza.

La cagione di tal fatto, conchiude Arago con la bella espressione di Plinio, *è ancor nascosta nella maestà della natura.*

Fenomeni vulcanici.

335. Vulcanismo e sue forme. Il *vulcanismo* nel suo più ampio significato, secondo la definizione di Humboldt, comprende *qualunque reazione, che l'interno del nostro pianeta esercita contro la sua superficie.* Sono molte le forme, sotto cui cotesta reazione si presenta più o meno sviluppata; possono ridursi alle seguenti: ai *vulcani* propriamente detti, ai *tremuoti*, alle *emanazioni gassose*, alle *salse*, ai *sollevamenti*. Esaminiamo in brevi cenni a parte così importanti fenomeni.

336. Vulcani ardenti. I *vulcani* propriamente detti, che io chiamo *ardenti* per distinguerli dai vulcani *fangosi*, sono *monti ignivomi*: essi suppongono una comunicazione sia permanente sia perio-

dica con un *focolare* situato a grande profondità, che alimenta le *eruzioni*. In generale sono formati a *cono*, e nell'interno v'è altro cono rovescio, che si denomina *cratere*.

Un vulcano ora è surto in una pianura, or sopra un monte preesistente; e 'l cono stesso chiamasi di *eruzione*, o di *sollevamento*, secondo che o è formato da materiali vulcanici lanciati in alto che ricadendo sopra se medesimi si ammassano, si sovrappongono, si ammonticchiano, o solamente da rocce più antiche o di qualunque altra formazione elevate dal vulcanismo.

I vulcani attivi sul globo sono circa 300; sulle isole ve n'è il doppio che ne'continenti. Alcuni sono *isolati* o *centrali* come il Vesuvio, l'Etna, e tutt'i vulcani di Europa: altri sono *allineati*, e costituiscono le *catene vulcàniche* tanto frequenti in America. Questi ultimi suppongono una fenditura longitudinale nella corteccia del globo; i primi delle fratture raggianti intorno a un centro. È questa una ragionevole ed importante scoverta del ch.° geologo Sainte-Claire Deville, il quale inoltre vuole così legati tutt' i fenomeni vulcanici di una regione da annunziarsi in relazione con le fenditure sottoposte.

I fenomeni che accompagnano gli accendimenti vulcanici sono assai svariati. Ne sogliono essere precursori e compagni scuotimenti del suolo, e fragore sotterraneo. Pur tuttavolta abbiam recenti e opposti esempî di due eruzioni del Vesuvio, l'una del 1850, che ne facea sentire i rombi spaventevoli somiglianti a poderose scariche di grossa artiglieria fino a distanza di 30 miglia; l'altra del 58, il cui carattere speciale fu una calma straordinaria.

Le materie ignee si fanno strada or dalla sommità del cono, or da fenditure che si aprono ai suoi fianchi o alla base; e ne vengon fuori sostanze aeriformi, e ceneri, e bombe, e un torrente di fuoco. Coteste fenditure il più delle volte sono appena accennate, e si argomentano piuttosto che si osservino; ma talora pure sono patenti, e dimostrano squarciati i fianchi del monte. Nessuna eruzione del Vesuvio à presentato questo fenomeno d'una maniera tanto luttuosamente manifesta, come l' ultima del dì 8 dicembre 1861. Il versante del Vulcano, che guarda tra mezzodì e ponente si crepacciò profondamente e d' una maniera raggiante dalle bocche d' eruzione al mare a traverso la città di Torre del Greco; i cui fabbricati incontrati dalle fenditure ne rimasero abbattuti. Sollevossi il suolo di oltre un metro, poi lentamente e a intervalli tende a restituirsi all'antica altezza.

Gli seriformi sogliono essere abbondante vapor d'acqua, e gli acidi cloridrico, solfidrico e solforoso, e in sul finire della eruzione acido carbonico: quest'ultimo nel Vesuvio si svolge nel terreno vulcanico ma lungi dall'accendimento, e vien detto *mofeta*, quasi aria mefitica. Sono notevoli specialmente le tante sublimszioni saline, che formansi intorno ai *fumaiuoli*, i quali sono centri di elevata temperatura, e persistono lungamente sulle lave dopo che àn cessato di fluire. Gli aeriformi poi vengon fuori con tanto impeto da lanciare in distanza grandi masse or di rocce straniere, or di lave antiche, or le scorie della lava fluente, e ora porzione della massa fusa, la quale rotondasi in alto e in cadere si schiaccia e prende nome di *mandorla* o di *bomba*. I più minuti frsmmenti di scorie si dicono *lapilli*, e *ceneri* allorchè son ridotti a polvere impalpsbile. Il Cotopaxi nel 1533 lanciò a tre leghe dal monte delle masse di 10 metri cubi. Le ceneri del Vesuvio ascendono sovente ad altezza enorme in forma di *pino*, oscurano completamente il giorno, e vsnno sì discoste che narra Procopio essere state lsnciate nel 472 fino a Costantinopoli.

Al copioso svolgimento di aeriformi è dovuta la *procella vulcanica* descritta da Humboldt, la quale indirettamente vien prodotta dal vulcanismo, ma si osserva spesso nelle più violente eruzioni. Allorchè abbondante vapore d'acqua e caldissimo emana dal cratere e si eleva a parecchie migliais di metri nell'stmosfera, si raffredds colà e si condensa in cumuli neri attorno alla colonna di fumo e di ceneri. La repentina precipitazione di tanto vapore deve svolgere copiosa elettricità, la cui tensione vien forse accresciuta, secondo GayLussac, dalle nuvole a grande superficie; d' onde frequente guizza la folgore in grembo alla colonna di fumo e di vapori e di ceneri, e chiaramente distinguesi lo scoppio fragoroso del tuono dal cupo muggito che rimbomba nelle viscere del vulcano.

La imponenza d'una eruzione arriva al colmo se fluisce la *lava*, un fiume di fuoco, composta di roccia fusa incandescente. La qusle si avanza or lentamente come massa pastosa, ora con rapidità di 2 a 3 metri per secondo, e allaga e brucia città e campagne, che restano sepellite sotto nn ampio strato di basalte. Il suo corso è anomalo oltre quanto potrebbe dirsi. In generale segue, com'è naturale, il pendìo e gli accidenti del suolo, e riempie le vallate; ma assai spesso o per lieve ostacolo che incontra, o facendo barriera a se medesima cangia repente direzione e porta spavento e distruzione in siti affatto diversi da quelli a cui per l'innanzi minacciava. Con ciò ri-

mane interamente cangiato l'aspetto del terreno, com'è accaduto al Vesuvio, dove cercheresti in vano il *Fosso grande*, e altri minori, tutti celebri nelle collezioni de'minerali della *Somma*, e ora colmati nella lunga eruzione del 58, anzi sostituiti da alte montagne.

La temperatura della lava è di 800 a 1000 gradi. Il volume talora ne è piccolissimo quale di un meschino rigagnolo; ma nelle grandi eruzioni eccede assai quel che sapremmo immaginare: le lave uscite dalle varie bocche nella eruzione del Vesuvio del 1858 superano 120 milioni di metri cubici; e in Islanda nel 1783 una sola corrente avea lunghezza di 20 leghe, e 4 di larghezza.

È carattere dei vulcani la *intermittenza* nelle eruzioni: la lunghezza del periodo è in ragione inversa delle dimensioni del vulcano, la durata poi e la veemenza della eruzione sono nella ragione diretta di essa. Stromboli, il *faro del Tirreno*, è il più piccolo dei vulcani: le sue eruzioni durano pochi minuti, e si alternano a brevissimi intervalli dalle due bocche. Quelle del Vesuvio avvengono ogni 5 o 6 anni, e durano de'giorni. I vulcani giganti di America, le cui cime torreggiano di là dal limite delle nevi perenni, il Cotopaxi, il Tunguragua, il Sangay, erompono ogni secolo, ma per anni interi. Questa legge però à molte eccezioni; infatti dopo due anni il Vesuvio ancora persisteva in eruzione dal maggio 58; ed era rimasto inattivo per secoli fino al 79 di nostra era.

Difficilmente si avvera che si rinnovelli una eruzione dalla stessa bocca, da cui squarciandosi altra volta il fianco del cono era sgorgata la lava; poichè questa in consolidarsi aggiunge consistenza a quel lato, che prima avea opposta minore resistenza. Neanche però è sempre vero che una eruzione segue la linea di resistenza minore.

Tra due eruzioni un vulcano sembra al tutto estinto. Talora se ne svolgono appena sostanze aeriformi, o sia prende le apparenze di *solfatara*. In generale tutt'i vulcani finiscono col ridursi in solfatare o con estinguersi affatto. I vulcani estinti sulla terra sono assai più numerosi degli attivi; nè può essere altrimenti, poichè nella prima età della terra la sua crosta meno spessa opponeva minore resistenza alla forza erompente del calore interno. Per convincersene basterà osservare quanto sono numerosi i vulcani spenti in Italia, mentre nei continenti non ve n'è che un solo in attività, il Vesuvio. Il Vicentino, il Viterbese, l'agro romano sono interamente vulcanici: il Vulture è pure un vulcano spento: i nostri *campi flegrei* sono gremiti di crateri vulcanici, e tutto il terreno è di formazione vulcanica.

Ben si deduce la potenza delle eruzioni ne'vulcani spenti riflettendo alle masse immense di *tufi* o *conglomerati*, i quali sono materiali incoerenti impastati dalle acque: queste più comunemente sono state quelle del mare, e si argomenta dalla presenza delle conchiglie marine.

Non è stato possibile descrivere i fenomeni vulcanici senza accennar sovente la cagione che li produce, la sola che può ritenersi al presente, il calore interno del globo. Le azioni chimiche locali, ipotesi tanto vagheggiata da Davy, e poi da lui medesimo abbandonata, non sono sufficienti, per dirne questo solo, a rendere ragione del periodo nelle conflagrazioni. Gli aeriformi, che debbono svolgersi dalle rocce fuse, e innanzi ogni altro l'acqua, la cui influenza è innegabile, saran capaci di quei tanti effetti di forza espansiva, che abbiamo enumerati. Ma intorno allo sgorgo delle lave restiamo indecisi se debba attribuirsi al raffreddamento della corteccia terrestre e alla restrizione che ne consegue, o alla sua pressione sulla massa fusa, o più probabilmente a una maniera di flusso e riflusso della materia ignea analogo alle maree.

337. **Tremuoti.** Non v'è bisogno di definire che sia un *tremuoto*: la voce il dice, un *commovimento del suolo*, il quale può essere *ondulatorio* o *sussultorio*, cioè tangente o normale alla terra, e talvolta pure *vorticoso*; e nulla vieta che queste diverse specie di moti si avverino a un tempo, come nel tremuoto di Caracas del 26 marzo 1812. Lo scuotimento nel mare vi genera il *marimoto*, come quello che sulle coste di Calabria sepellì nelle onde il principe di Scilla con 1430 dei suoi.

Sembra che le isole sieno più soggette dei continenti al tremuoti; più le coste che i paesi dentro terra, le regioni equatoriali più delle polari, i terreni prossimi ai vulcani in preferenza degli altri; e per tremuoti di uguale forza il danno è maggiore dove si congiungono terreni di natura diversa: come avvenne nell'orrendo tremuoto di Calabria per tutti i paesi che si trovavano nella linea di unione tra il granito e i terreni recenti. Per l'opposto alcuni siti sono come per privilegio esenti dal tremuoto, il quale passa oltre propagandosi per la corda terrestre, e non seguendo l'arco superficiale. Nel Messico e nel Perù di cotesti paesi esenti si dice, che *fan ponte al tremuoto*. Ma è un ponte labile: infatti la penisola di Maniquarez dopo secoli à cominciato dal 14 decembre 1797 a partecipare de'tremuoti di Cumana. Similmente non rare volte si è osservato che i tremuoti suc-

cessivi van guadagnando terreno estendendosi a distanza maggiore. Ad esempio le scosse, che sconvolsero quasi senza interruzione dal 1811 al 1813 i bacini del Misissipi, dell'Arkansas e dell'Ohio, andavano ampliandosi sensibilmente verso il nord. L'uno e l'altro di questi fatti può intendersi ammettendo che gli ostacoli sotterranei restino abbattuti per la violenza del commovimento, e che le vibrazioni allora propaghinsi con libertà. In generale, poichè le catene di montagne si sono elevate sopra una fenditura del suolo, secondo le loro pareti il tremuoto si estende più facilmente : ma non poche volte si propaga perpendicolarmente alla loro direzione ; anzi sappiamo che talora insieme traversa più catene parallele, ad esempio la Cordigliera del littorale di Venezuela e la Sierra-Parima.

Non conosciamo segno precursore del tremuoto, nè una relazione fra esso e lo stato atmosferico, sebbene tutto ci persuada che debba esservi. Infatti ora si è scosso il suolo dopo dirotte piogge, ora in una stagione secchissima: talvolta a cielo ingombro di vapori o coverto di dense nuvole e con aria pesante, o imperversando una procella atmosferica, tale altra con tempo sereno e bello oltre l'usato; e neanco è notevole la differenza o costante secondo le stagioni. Solamente gli animali presentono lo spavento, che invade l'uomo in presenza del pericolo indefinibile e minacciante da ogni lato per la perdita della illimitata fiducia nella stabilità del suolo. Financo i *coccodrilli dell'Orenoco*, a testimonianza di Humboldt, *sempre così muti come le lucertole, fuggono le agitate sponde del fiume e corrono rugghianti alla foresta.*

Quasi sempre rombi sotterranei ben distinti da quelli del tuono precedono di un attimo i tremuoti o loro si accompagnano : talora buffi di vento, e speciale odore, indizio di svolgimento gassoso. Sovente si videro e fiamme, e fumo, e scaturirono acque termali, e si produssero altri fenomeni di forte calore. È ben naturale che molte volte sia così; ma spesso è mera illusione. Nel tremuoto di Melfi del 1851 si parlò di apparizione di fiamme, e si disse che le acque del lago di Monticchio avessero bollito; ma recatomi colà per incarico del R. Istituto d'Incoraggiamento non pure non trovai per tutto il Vulture indizio d'innalzamento di temperatura, nè acque termali, ma vidi quelle di Monticchio popolatissime di *ciprini*, che di certo avrebbero dovuto perire.

Se un tremuoto spiega tutta la sua possanza, ne restano abbattuti edifizi e città, si fende il suolo, montagne s'inabissano e colmano le

valli, si scavano ampie voragini, si arrestano i fiumi, o fuorviano e inondano il paese: talvolta si cangia così la configurazione del terreno da più non riconoscerlo. Incalcolabile è il danno, e innumerevoli le vittime. Nel tremuoto di Lisbona del 1755 perirono meglio di 60000 persone.

I disastri maggiori del tremuoto sono sempre limitati a ristretta porzione di paese; il che c' induce a credere che il centro del movimento non sia a grande profondità, ma forse immediatamente sottoposto alla crosta solida. Nulla però vieta che un medesimo scotimento abbia più centri a un tempo. Pare che dov'è il centro, il moto colà sia sussultorio, e si cangi in ondulatorio con la distanza. Ma ognuno vede che la comunicazione del moto e la sua direzione debbano essere dipendenti da diverse condizioni, e specialmente dalla resistenza opposta dai diversi terreni secondo la loro natura. Si ritiene come straordinario il tremuoto di Calabria, che distrusse tutto il paese entro una circonferenza di 22 miglia di raggio intorno a Oppido; ma si sentì forte per tutta Sicilia, e verso il Nord ben oltre Napoli. È singolare la subitaneità della comunicazione; il tremuoto di Lisbona nell'istesso istante fu avvertito fino in Danimarca.

Per l'ordinario un tremuoto dura pochi secondi, ma sovente si ripete per mesi e per anni. Quattro interi anni durò quello di Calabria: nel solo primo anno si sentirono 949 scosse, tra cui 501 di prima forza.

Si fè ricorso all'elettrico per ispiegare i tremuoti, quando di tutto si volea dar ragione con esso; ma la ipotesi non si adatta ai fatti e alle circostanze. D'onde apparisce la inutilità dei *paratremuoti*, come chiamaronsi delle lunghe pertiche piantate nel suolo, per le quali speravasi che si scaricasse di elettrico e divenisse *immobile*.

Per converso è troppo chiara ne'tremuoti la reazione di dentro in fuori, o altrimenti la identità di cagione coi vulcani. Sponendo tutto in breve, allorchè l'azione vulcanica non giunge a farsi strada all'esterno con una formale eruzione, disfoga il suo sdegno contro i terreni sovrastanti e li sommuove. In conferma del fin qui detto aggiungiamo, che mentre da una parte i paesi più devastati dal tremuoto sono i vulcanici, dall'altra i vulcani in eruzione sono come valvole di sicurezza per la regione circostante. Infatti nell'America del Sud allorchè sparve il fumo dal vulcano di Pasto il 4 febbraio 1797 fu distrutta per tremuoto la città di Riobamba; e per l'opposto non furono più scosse la Siria, le Cicladi, ed Eubea al presen-

tarsi una eruzione nelle pianure calciche. Per fermo non si oppone a questi fatti la narrata ruina di Torre del Greco accaduta contemporaneamente alla eruzione non per tremuoto ma per sollevamento e crepacciature del suolo.

Per la connessione che regna fra tutti i fenomeni di fisica terrestre, tra le osservazioni di tal genere dovrebbero figurare anche quelle de'tremuoti indicanti le loro epoche, la durata, la natura e direzione del moto, e la intensità. A tal fine sono stati ideati ordigni speciali denominati *sismometri* e *sismografi* (*).

338. **Svolgimento di aeriformi.** Le emanazioni gassose, che sono uno de'fenomeni delle eruzioni vulcaniche, si presentano anche isolate colà dove sembra affatto estinto il vulcanismo, o pure in terreni di origine non ignea. Dimostriamolo con alquanti esempî per gli aeriformi, che si sviluppano più abbondanti.

1. *Acido carbonico.* L'acido carbonico si svolge copioso per la intera regione de'*campi flegrei*, non solo nella celebrata grotta del cane, ma in tutte le cavità naturali o artefatte. Avviene il medesimo nelle contrade vulcaniche dell'Eifel e dell'Alvergna, dove ugualmente ogni calore è spento; e se ne trae profitto per serbarvi nelle grotte le sostanze organiche e preservarle dalla putrefazione. Nell'isola di Giava dalla *Guevo-Upas*, cioè *valle del veleno*, ascendono torrenti copiosi di acido carbonico, che fan regnare l'asfissia e la morte in tutta quella regione: il terreno è sparso di scheletri di uccelli, di tigri, di cervi, di capriuoli.

Nelle epoche anteriori essendo più elevata la temperatura del globo e più copiose le fenditure della sua crosta non ancora iniettate dalle rocce ignee, cotesto sviluppo dovea essere assai più abbondante; donde una vegetazione così rigogliosa a qualunque latitudine, che preparò i materiali de'ricchi depositi di carbon fossile e di lignite. E pure sì grande quantità di acido carbonico, che si sparse nell'atmosfera e fu poi assorbito dai vegetali, non rappresenta che un residuo di quello che si svolgea dalla terra. La maggior parte dovè entrare in combinazione con gli ossidi metallici, specialmente con la calce, per formare gli strati così potenti delle rocce calcari di sedimento. Forse in una maniera analoga è dovuto svilupparsi una quantità considerevole di acido solforico, che, dopo aver cagionata la morte a molluschi e pesci tanto numerosi allo stato fossile, si combinò con la calce e produsse i depositi di gesso.

(*) Dal greco σεισμος tremuoto.

2. *Vapor d'acqua.* I *soffioni* di Toscana ne porgono l'esempio più specioso. Trovansi essi nel terreno conchiglifero tra Volterra e Massa intorno alle sorgenti della Cornia, e consistono in una furiosa corrente di vapor d'acqua misto ad aria e ad acido borico, che si svolge gorgogliando attraverso le acque de'così detti *lagoni*. La corrente gassosa à temperatura di 120 a 140°, mentre quella de'lagoni non oltrepassa i 70°.

3. *Idrogeno.* Le emanazioni d'idrogeno , dove quasi puro , dove misto a carbonio, sono oltre quanto può dirsi copiose. Dalle miniere di carbone si svolge abbondante, e detona se misto ad aria si accende con danno e morte di migliaia di operai. Le fiamme intermittenti, che escono dalla caverna di Cuchivano nell'America del sud sono idrogeno acceso; nè altra è la origine dei *fuochi di Pietramala* nella regione più elevata degli Appennini tra Bologna e Fiorenza, le cui fiamme si elevano parecchi metri dal suolo , e reggono con dirotte piogge, e con venti impetuosi ; anzi pare che splendano allora di luce più viva. Da ultimo sono troppo celebri i *pozzi a fuoco* di Cina, d'onde l'idrogeno vien condotto mediante canne di bambù dove che sia , ed è impiegato per illuminare o per riscaldare. Altrettanto si è cominciato a praticare in Fredonia nello stato di New-York.

339. **Salse.** Le *salse* sono un fenomeno intermedio tra le semplici emanazioni gassose e le eruzioni ignee de'vulcani ardenti. Imperocchè ànno esse due fasi: l'una di attività , e allora si accompagnano con tremuoti, con rimbombi sotterranei, con sollevamenti e anche con fiamme, che vorticose si estollono a grande altezza , ma presto si spegnono: l'altra è di calma, la quale è permanente ; e allora si svolge più o meno abbondante un aeriforme, che può essere idrogeno, o acido carbonico , o anche azoto puro; e insieme si versa dalla bocca una melma, un fango, donde i nomi di *vulcani di aria o di fango*. E perchè sorgono sempre ne'terreni che ànno miniere di salgemma , e l'acqua che stempera il fango è salata , son detti generalmente *salse*. Anzi io trovo ragionevole la opinione del Bianconi professor bolognese, che ripone nel *salgemma decrepitante* di Dumas, il quale messo in acqua genera un crepitio svolgendo idrogeno, la cagione della presenza di questo gas nelle salse, poichè anche io ne ò raccolto in quelle di Sicilia. Avendo visitato nel 1841 la salsa di M. Zibio nel Modenese durante il periodo di attività; non che nel 1845 le *macalube* di Sicilia nel periodo di calma ; le descrissi come

le rinvenni, cioè molto diversamente dallo stato, in che le avea trovate Dolomieu nel 1781 ragionando dei molteplici fenomeni che vi si presentano (*).

I vulcani fangosi nulla àn di comune con quel singolare fenomeno , che talora presentano i vulcani giganti americani. Gli orribili scuotimenti, che precedono le grandi eruzioni delle Cordigliere, ne squarciano i fianchi, d'onde si versano a distanza acque in copia e pesci ché viveano in serbatoi sotterranei,e tufo stemperato e fango argilloso.

340. **Sollevamenti**. I vulcani ardenti pria d'irrompere in una formale eruzione *sollevano* spesse volte il terreno; che se le materie ignee àn forza di vincerne completamente la resistenza erompono all'esterno, e si ammassano , e generano i coni di eruzione. Ne vediamo esempi tutto dì nelle lave del Vesuvio, sulle quali mille volte ò assistito a de'veri sollevamenti, che poi man mano si sono trasformati in coni di eruzione; ed ò creduto sempre vedervi in miniatura quel che à dovuto accadere sulla crosta del nostro pianeta per azione del calore interno. Nè sono altra cosa gli *hornitos* osservati da Humboldt intorno al vulcano di Xorullo.

Volendo addurre esempî così di sollevamenti come di monti di eruzione surti in epoche storiche remote o vicine, ci basterà ricordare i seguenti. Il picco di Metana fra Trezena e Epidauro è una vera montagna di sollevamento elevatasi 282 anni prima di nostra era; e tale pure il Vulcano di Xorullo nato il 29 settembre 1759. Il Monte Nuovo surto fra Baia e Pozzuoli il 19 settembre 1538 è un semplice cratere di sollevamento. Somigliante è la origine di molte isole elevatesi dal fondo dell'Oceano per azione vulcanica. Può ritenersi come tipo di tutte la Santorini nell'arcipelago greco nata e ingrandita per successive eruzioni , le quali produssero ugualmente Nea, Terasia, Alone , e la piccola e la grande Kameni. Le Azzorri e le Aleuzie sursero ugualmente, e ai nostri tempi (il 2 luglio 1831) abbiam veduto formarsi l'isola Giulia di rincontro a Sciacca, e poi sparire per azione delle onde.

Or dal vedere sì prepotenti effetti delle forze interne attuali del globo capaci di sollevare montagne nel bel mezzo delle pianure , e nuove isole dal fondo dei mari, fu ben naturale la idea, che le ineguaglianze della superficie del nostro pianeta, cioè le montagne e le

(*) Memoria inserita nel vol. IX degli Atti del R. Istituto d' Incoraggiamento.

valli, fosser dovute massimamente ad uguale maniera di azione di dentro in fuori, al vulcanismo delle epoche anteriori. La forma stessa delle montagne, la direzione delle loro catene, la inclinazione degli strati, la presenza di conchiglie ed altre produzioni marine ad altezze enormi, sono tanti argomenti appoggiati a innumerevoli fatti, per cui non sembra più lecito rifiutare cotesto sistema. I due grandi geologi de Buch e Elia de Beaumont ne ànno sviluppato il gran concetto indicando la vera strada da seguire in questo genere di ricerche: e 'l secondo d'essi à stabilito pur anco i criterii per definire l'epoca relativa de'diversi sollevamenti. Ma noi non possiamo arrestarvici, chè troppo invaderemmo il campo della geologia. Ci basterà accennare solamente che a somiglianza de'vulcani centrali e allineati, per sollevamento si son prodotte del pari montagne isolate o catene di montagne. Le masse immense di rocce ignee, il Puy-de Dome, l'Antisana, il Chimborazzo, aventi forma di *cupole* giganti, sono enormi rigonfiature analoghe ai vulcani centrali: le Alpi, i Pirenei somigliano ai vulcani allineati. Intorno a ciò vogliamo osservare, che appena consolidatasi la corteccia terrestre, i sollevamenti doveano essere più frequenti, e insieme meno elevati e più semplici; ma crescendo la spessezza della superficie, e aumentata la resistenza, specialmente per la sovrapposizione de'terreni di sedimento, debbono essere divenuti gradatamente più rari, e nella stessa proporzione maggiori e più complicati. L'Himalaya e le Ande sono senza fallo effetto degli ultimi conati, co'quali le forze interne àn modificato fino ai nostri dì il rilievo del globo.

FINE DEL SECONDO ED ULTIMO VOLUME.



INDICE

DELLE MATERIE

LIBRO SETTIMO

MAGNETISMO

LIBRO OTTAVO

ELETTRICITÀ STATICA

LIBRO NONO

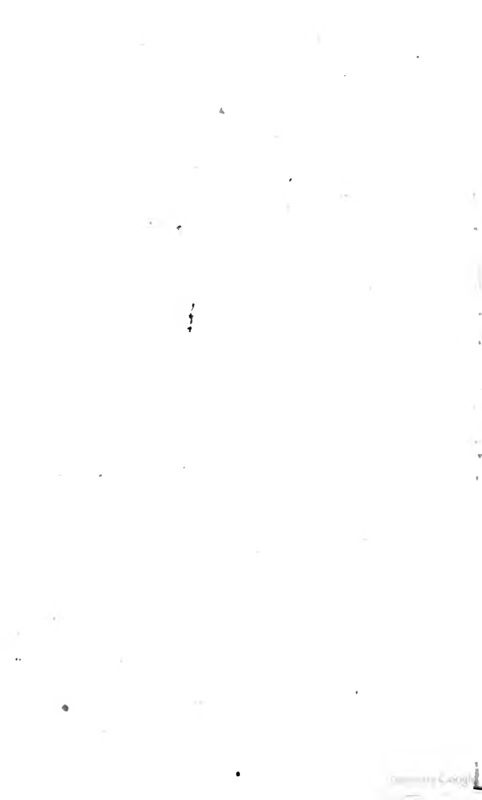
ELETTRODINAMICA

LIBRO DECIMO

OTTICA

LIBRO UNDECIMO

FISICA TERRESTRE




BNC - FIRENZE
B.10.3.477